

РОЗШИРЕННЯ ДІАПАЗОНУ СТІЙКИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТУРБОПОРШНЕВОГО ДИЗЕЛЯ

С.О. Альохін, Д.Ю. Бородин, В.П. Герасименко, В.А. Опалєв

Розглянуто основні проблеми забезпечення газодинамічної стійкості турбопоршневих дизелів з високим наддувом. Вивчено умови виникнення помпажа й обертового зриву – форм нестійкості відцентрових компресорів агрегатів турбонаддуву, які найбільше часто зустрічаються. Запропоновано рекомендації з запобігання зривних процесів шляхом локального впливу на потік в області зривних зон за допомогою щілинних пристроїв із приєднаними об'ємами.

EXPANSION OF A GAMUT OF STABLE CONDITIONS OF OPERATION TURBOPISTON DIESEL

S.A. Alyohin, D.Yu. Borodin, V.P. Gerasimenko, V.A. Opalev

The basic problems security of gas-dynamic stability turbopiston diesels with high boosting are reviewed. The requirements of origin of a surge and rotatory failure - most frequently of meeting shapes of instability of centrifugal superchargers turbocharging of aggregates are learnt. The recommendations for prevention of stalled processes are proposed by local effect on a flow in the field of stalled bands with the help of slotted devices with affixed bulks.

УДК 621.43.004

Ю.Ф. Гутаревич, О.В. Сирота, С.В. Карєв

ВПЛИВ МЕТОДУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ СУЧАСНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА

В даній статті наведені результати експериментальних та розрахункових досліджень по використанню комбінованого методу регулювання потужності (КМРП) на бензиновому двигуні з системою впорскування, нейтралізатором і зворотнім зв'язком. Встановлено ефективність застосування рециркуляції відпрацьованих газів, як метода по зниженню концентрацій оксидів азоту, при КМРП на сучасному бензиновому двигуні. Визначено ефективність застосування КМРП стосовно поліпшення паливної економічності та екологічних показників в перехідних режимах двигуна.

Вступ

Аналіз проведених досліджень показує, що основними режимами роботи автомобільних двигунів при експлуатації у великих населених пунктах є часткові навантажувальні та швидкісні режими. В цих режимах для бензинових двигунів характерним є зниження паливної економічності та підвищення викидів продуктів згорання, що частково обумовлено способом регулювання потужності – дроселюванням паливоповітряної суміші.

Одним з шляхів поліпшення паливної економічності бензинових двигунів в названих режимах є перехід від регулювання потужності двигуна дроселюванням до комбінованого методу – відключенням групи циліндрів і, значно меншим рівнем, дроселюванням працюючих циліндрів.

Дослідження застосування методу регулювання потужності зміною робочого об'єму шляхом відключення частини циліндрів ведуться ще з середини 20-го століття. Теорія регулювання потужності двигуна шляхом відключення циліндрів вперше була розроблена академіком Чудаковим Е.А. [1]. В даній роботі проаналізовані різні схеми відключення циліндрів – від припинення подачі бензину без зміни системи газообміну до створення модульного двигуна, в якому група циліндрів відключається

шляхом роз'єднання колінчастого вала. Теоретичні і експериментальні дослідження [2-4] підтвердили доцільність застосування в бензинових двигунах регулювання потужності шляхом відключення групи циліндрів для поліпшення паливної економічності.

Особливий розвиток досліджень, направлених на поліпшення паливної економічності бензинових двигунів шляхом регулювання їх потужності відключенням частини циліндрів, почався в 70-х роках ХХ століття.

Роботи, в основному, проводились на карбюраторних двигунах. Були розроблені системи відключення групи циліндрів.

Метод регулювання потужності відключенням групи циліндрів широко застосовують на сучасних бензинових двигунах з системами впорскування. Високу ефективність цього методу отримують при відключенні циліндрів зупинкою клапанів, але реалізація методу таким способом можлива лише в процесі створення нових конструкцій двигунів. Разом з тим, як показують проведені в Національному транспортному університеті на сучасних бензинових двигунах дослідження, паливну економічність таких двигунів можливо покращити відключенням групи циліндрів припиненням подачі пали-

ва [5]. Цей спосіб може бути реалізовано на серійних двигунах.

В даній статті наведені результати досліджень по використанню комбінованого методу регулювання потужності (КМРП) в двигуні з системою впорскування бензину, нейтралізатором і зворотнім зв'язком, який включає відключення групи циліндрів і дроселювання працюючих і відключених циліндрів.

Мета роботи

Метою даної роботи є визначення показників сучасного бензинового двигуна при зміні методу регулювання потужності з дроселювання на комбінований метод та дослідження шляхів поліпшення показників двигуна при застосуванні цього методу.

Рішення задачі

Дослідження проводили на шестициліндровому двигуні 6Ч 9,5/6,98, паливну економічність і екологічні показники оцінювали за навантажувальними характеристиками, визначеними в різних швидкісних режимах.

Для прикладу на рис. 1 показані навантажувальні характеристики двигуна для порівняння показників його роботи на трьох та шести циліндрах при $n_d=2600 \text{ хв}^{-1}$. При цьому, для обох режимів роботи двигуна визначались ефективний крутний момент M_k , розрідження у впускному трубопроводі ΔP_k , кут відкриття дросельних заслінок $\phi_{др}$, витрати палива G_p та повітря $G_{пов}$ та вміст у ВГ основних токсичних компонентів - CO , $C_m H_n$, NO_x та вміст двооксиду вуглецю CO_2 .

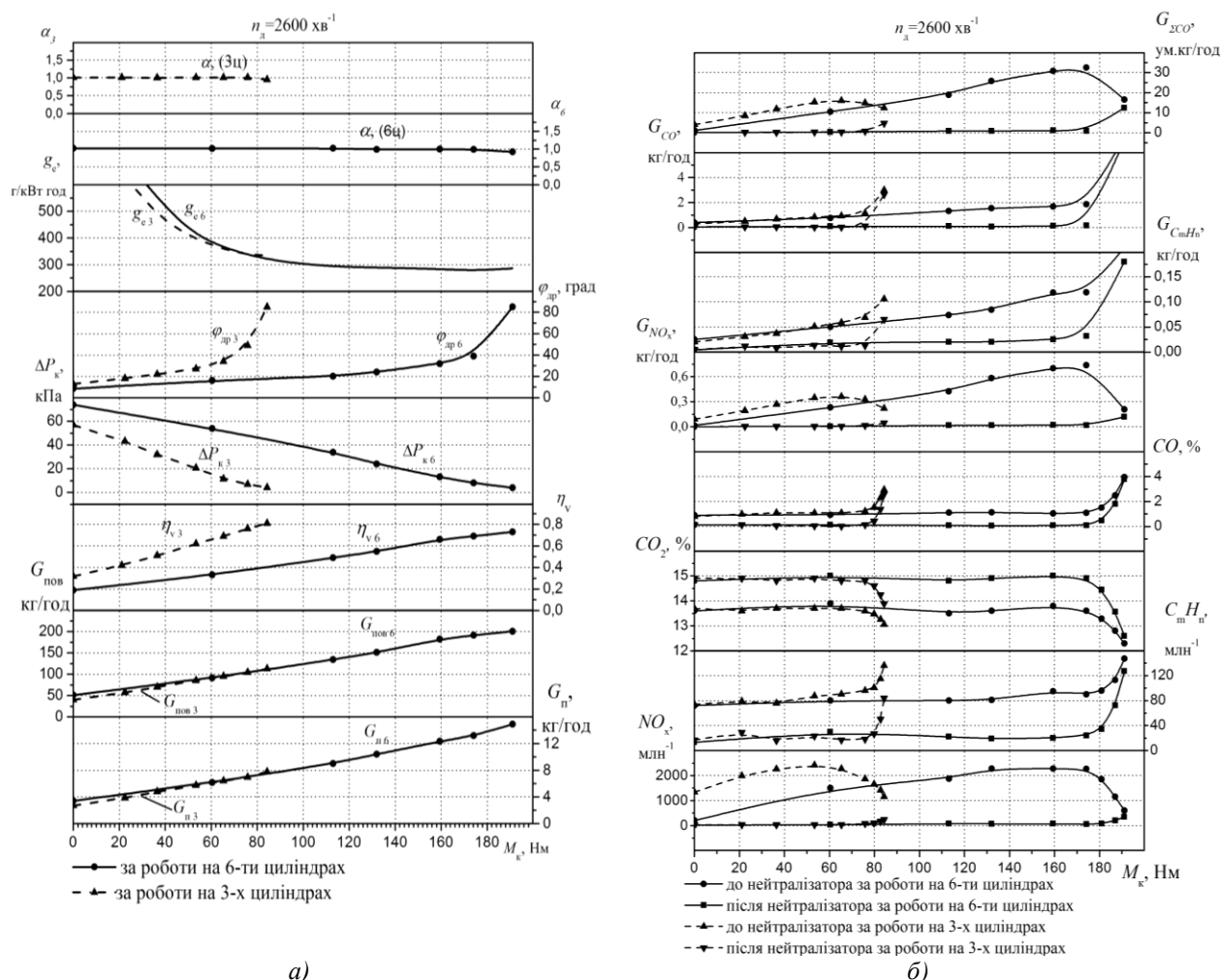


Рис. 1. Навантажувальні характеристики двигуна 6Ч 9,5/6,98 при $n_d=2600 \text{ хв}^{-1}$ за роботи на трьох та шести циліндрах

а – показники паливної економічності та енергетичні показники; б – концентрації і масові викиди ШР

З показаних характеристик видно, що в усьому діапазоні навантажень від режимів холостого ходу і до початку роботи збагачуючого пристрою

підтримується стехіометричний склад паливоповітряної суміші незалежно від кількості працюючих циліндрів. Це забезпечує високі показники роботи

каталітичного нейтралізатора. При відключенні трьох циліндрів, в даному швидкісному режимі, потужність двигуна зменшується з 191 Нм до 84 Нм. При навантаженнях до 65 Нм за роботи двигуна на трьох циліндрах спостерігається покращення паливної економічності в порівнянні з роботою на всіх циліндрах. При цьому зі зменшенням навантаження економія палива зростає. В режимах холостого ходу за роботи двигуна на трьох циліндрах економія палива складає 20,3 %. При навантаженні 65 Нм витрата палива за роботи двигуна на шести і трьох циліндрах однакова, а при більшому навантаженні робота двигуна з групою відключених циліндрів стає менш економічною і тому недоцільною. Аналогічні результати отримані і в інших швидкісних режимах роботи двигуна.

Аналіз екологічних показників двигуна свідчить про значне зростання концентрацій NO_x за роботи двигуна на трьох циліндрах в порівнянні з роботою двигуна на шести циліндрах в однакових умовах без використання нейтралізації ВГ. При застосуванні трикомпонентного каталітичного нейтралізатора концентрації NO_x для обох випадків роботи значно зменшуються. Концентрації оксиду вуглецю CO та вуглеводнів C_mH_n за роботи двигуна з нейтралізатором при різній кількості працюючих циліндрів також, приблизно однакові.

Схожі результати отримані і в інших швидкісних режимах.

Таким чином, одним з недоліків методу відключення циліндрів є зростання викидів оксидів азоту, що призводить до збільшення сумарних, приведених до CO , шкідливих викидів $G_{\Sigma\text{CO}}$.

Для зменшення концентрацій оксидів азоту у відпрацьованих газах двигуна за роботи на трьох циліндрах була застосована рециркуляція ВГ з коефіцієнтом рециркуляції близько 12%. Така величина цього коефіцієнта для режиму роботи двигуна в середній точці Європейського їздового циклу була визначена з врахуванням зміни показників паливної економічності і концентрацій NO_x [6].

З використанням експериментально заміряних концентрацій шкідливих речовин визначили їх масові викиди з застосуванням та без застосування рециркуляції ВГ.

На рис. 2а, як приклад, показані залежності масових викидів ШПР двигуна 6Ч 9,5/6,98 від навантаження з та без застосування рециркуляції ВГ, визначені за частоти обертання 2000 хв^{-1} .

Як видно з наведених характеристик масові викиди оксиду вуглецю G_{CO} , вуглеводнів $G_{\text{C}_m\text{H}_n}$ та двооксиду вуглецю G_{CO_2} за роботи двигуна на 3-х циліндрах без застосування нейтралізатора та рециркуляції ВГ майже не відрізняються від масових

викидів даних речовин в порівнянні з роботою на 6-ти циліндрах у всьому навантажувальному діапазоні, окрім режиму повних навантажень. При цьому масові викиди оксидів азоту G_{NO_x} за роботи на 3-х циліндрах значно перевищують значення за роботи на 6-ти циліндрах. Такі зміни масових викидів ШПР призвели до того, що сумарні масові викиди ШПР $G_{\Sigma\text{CO}}$, зведені до CO більші за роботи на 3-х циліндрах в порівнянні з роботою на 6-ти циліндрах.

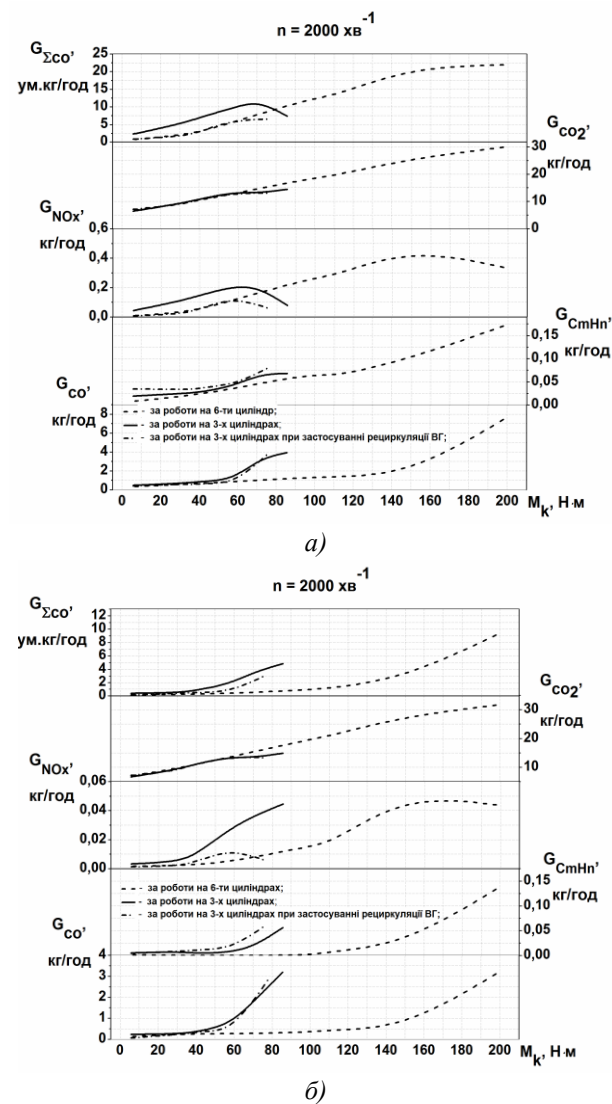


Рис. 2. Залежності масових викидів ШПР з ВГ двигуна 6Ч 9,5/6,98
а – без нейтралізатора; б – з нейтралізатором

На рис. 2б показані такі ж залежності двигуна 6Ч 9,5/6,98, обладнаного нейтралізатором. Як видно нейтралізатор дозволив суттєво знизити всі ШПР, при цьому закономірності зміни масових викидів оксиду вуглецю, двооксиду вуглецю та вуглеводнів залишилися такими ж, як без застосування нейтра-

лізатора ВГ. Масові викиди оксидів азоту, і, як наслідок, сумарні масові викиди, зведені до СО при застосуванні рециркуляції ВГ при роботі на 3-х циліндрах суттєво зменшилися в порівнянні з роботою на 3-х циліндрах без застосування рециркуляції ВГ.

Для визначення характеру впливу рециркуляції ВГ на робочий процес двигуна за роботи з різною кількістю циліндрів було проведено індицирування.

На рис. 3 показані індикаторні діаграми, діаграми стиснення-розширення та результати розрахунків температури від кута повороту колінчастого вала за роботи двигуна на трьох циліндрах з застосуванням та без застосування рециркуляції ВГ.

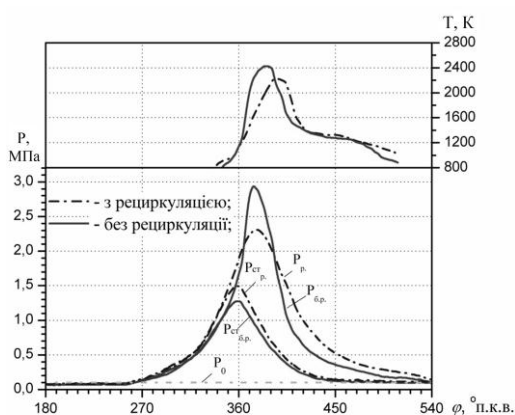


Рис. 3. Індикаторні діаграми двигуна 6Ч 9,5/6,98 за роботи на трьох циліндрах з та без застосування рециркуляції ВГ

За роботи двигуна з трьома відключеними циліндрами з застосуванням рециркуляції ВГ, в порівнянні з роботою з трьома відключеними циліндрами без застосування рециркуляції ВГ, максимальний тиск в циліндрі P_z зменшується з 2,96 МПа до 2,36 МПа. При цьому збільшується кут повороту колінчастого вала, що відповідає максимальному тиску, з 374 °п.к.в. до 377 °п.к.в.. При застосуванні рециркуляції ВГ зменшується максимальна температура циклу T_{max} з 2431 К до 2222К. Кут повороту колінчастого вала, який відповідає максимальній температурі, збільшується з 384 °п.к.в. до 392 °п.к.в.. Максимальний тиск на діаграмі стиснення-розширення при застосуванні рециркуляції ВГ збільшився з 1,28МПа до 1,49 МПа. Це може бути пояснено збільшенням тиску на впуску P_a з 0,068 МПа до 0,08 МПа, в результаті додавання гарячих ВГ до повітря у впускний колектор, за рахунок чого зростає температура суміші, і, відповідно, зростає абсолютний тиск, завдяки чому зменшуються насосні втрати на впуску.

На рис. 4 показано зміну коефіцієнтів використання теплоти ξ та тепловиділення χ в залежності від повороту колінчастого вала. Початком відліку прийнято кут повороту колінчастого вала в момент подачі іскри в циліндрі двигуна, так як кут випередження запалювання при застосуванні рециркуляції ВГ та без застосування – однаковий і становив 30 °п.к.в..

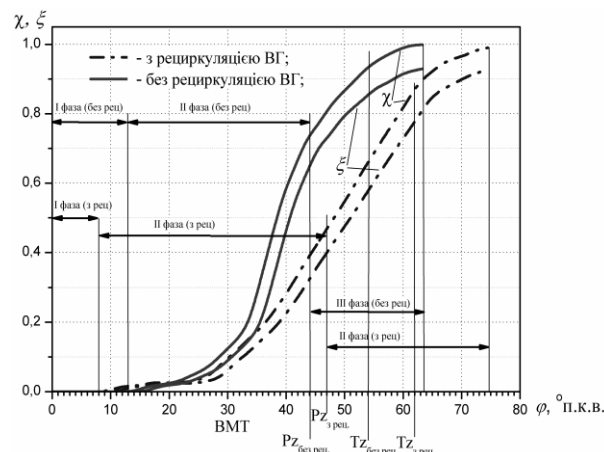


Рис. 4. Характеристики активного тепловиділення та використання теплоти двигуна 6Ч 9,5/6,98

Аналізуючи характер зміни коефіцієнта використання теплоти ξ та коефіцієнта тепловиділення χ отримано:

- максимальне значення коефіцієнта використання теплоти ξ при застосуванні рециркуляції ВГ зменшилось з 0,929 до 0,928;

- кут повороту колінчастого вала, який відповідає максимальному значенню коефіцієнта використання теплоти ξ та коефіцієнта тепловиділення χ , збільшується з 394 ° до 404 ° п.к.в.;

При застосуванні рециркуляції ВГ зменшується I фаза згоряння з 13° до 8° п.к.в., що може бути пояснено прискоренням початку реакції окислення в циліндрах двигуна, за рахунок більшої температури свіжого заряду внаслідок додавання до робочої суміші рециркульованих ВГ з високою температурою. При цьому, II та III фаза згоряння зростають, відповідно II фаза з 31° до 40° п.к.в. і III фаза з 18° до 26° п.к.в.. Внаслідок цього, зростає тривалість згоряння $\varphi_{зг}$ з 62° до 74° п.к.в..

Як наслідок, зниження максимальної температури в робочому циклі призвело до значного зменшення концентрацій NO_x у відпрацьованих газах.

В умовах експлуатації основними режимами роботи автомобільних двигунів є неусталені режими. Визначення ефективності застосування КМРП саме в цих режимах стосовно поліпшення паливної економічності та екологічних показників двигуна складало одну із задач досліджень.

Для визначення тривалості перехідного процесу при відключенні і включенні циліндрів при застосуванні КМРП було проведено індицирування робочого процесу в циліндрі, який відключався.

З фрагментів осцилограм (Рис. 5), записаних при $M_k = 50 \text{ Нм}$ та $n_d = 2000 \text{ хв}^{-1}$ видно, що як при

включенні, так і при відключенні циліндра процес переходу відбувався за один робочий цикл. Це дає змогу мінімізувати тривалість перехідного процесу, покращити процес керування потужністю двигуна і є підставою очікувати поліпшення паливної економічності.

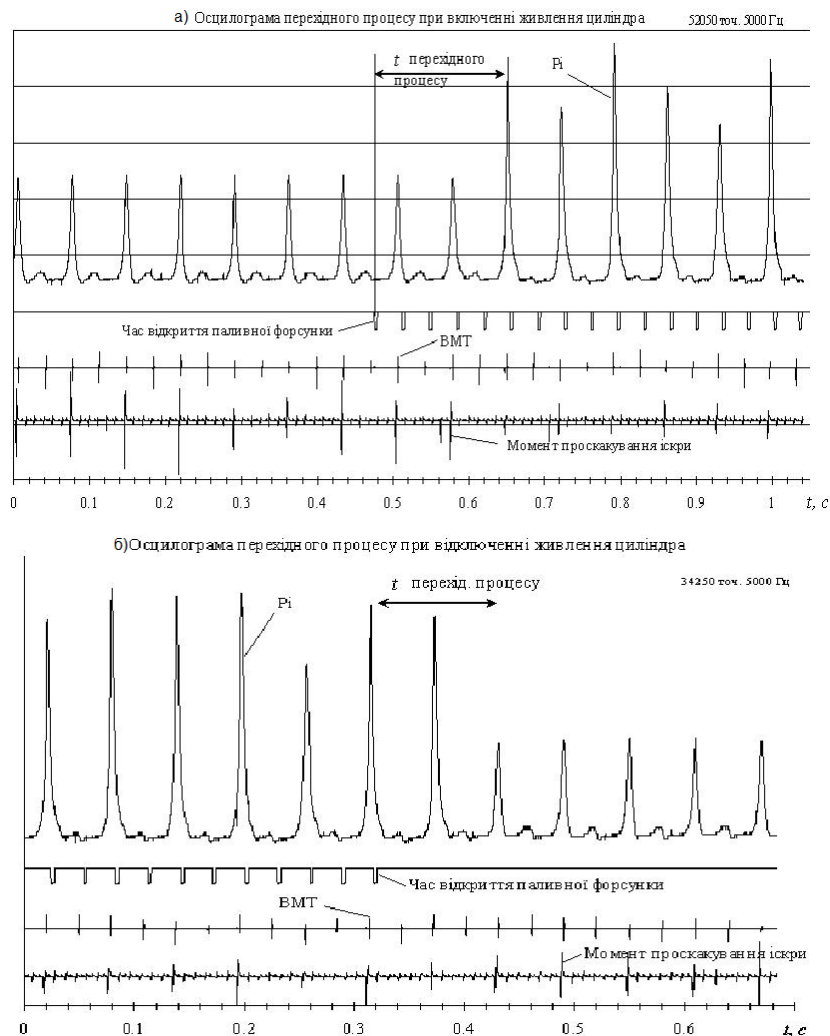


Рис. 5. Фрагменти осцилограм перехідного процесу: а) при включенні живлення; б) при відключенні живлення

При зміні кількості працюючих циліндрів виникає ударне навантаження в зв'язку з різною зміною енергетичних показників двигуна. Крутний момент при роботі двигуна на частині циліндрів може в 2-3 рази відрізнятись в порівнянні з крутним моментом при роботі двигуна на всіх циліндрах. Це призводить до втрати контролю при керуванні автомобілем.

Уникнення цього недоліку в системі, яка розроблена і досліджувалась [7], забезпечується скачкоподібною зміною положення дросельної заслінки при відключенні та включенні групи циліндрів.

Для порівняння показані перехідні процеси розгону і уповільнення двигуна (Рис. 6) для двох

випадків: а) без зміни положення дросельної заслінки в момент переключення кількості працюючих циліндрів; б) за зміни положення дросельної заслінки.

Перевірку адекватності математичної моделі руху двигуна в неусталених режимах проводили порівнянням енергетичних показників двигуна та паливної економічності, визначених експериментально і розрахованих в циклах розгін–уповільнення.

Екологічні показники двигуна визначали в однакових за інтенсивністю розгону і уповільнення циклах за регулювання потужності дроселюванням всіх циліндрів та при КМРП.

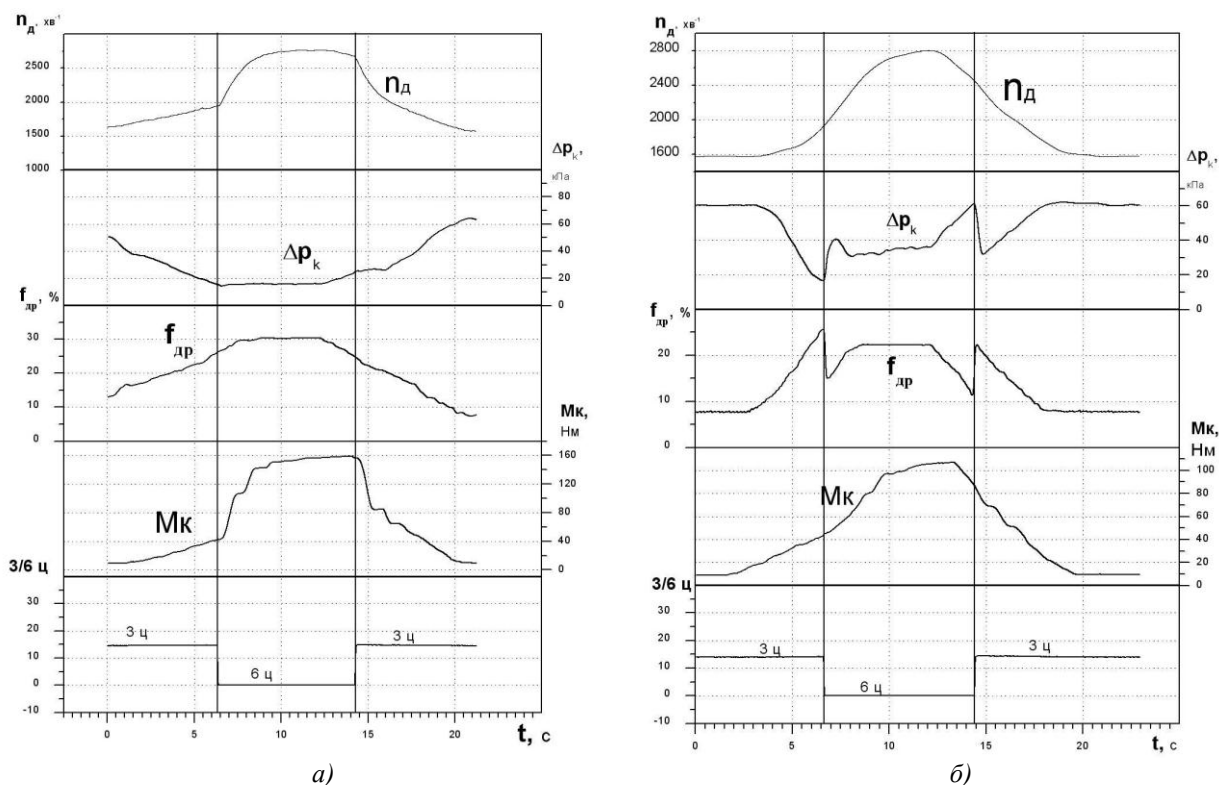


Рис. 6. Осцилограма розгону двигуна зі зміною кількості працюючих циліндрів
 а) без зміни кута відкриття дросельної заслінки; б) зі зміною кута відкриття дросельної заслінки

Для розрахунку викидів ШР при русі двигуна, встановленого на гальмівному стенді і неусталених режимах за десять циклів розгін-уповільнення за різних методів регулювання потужності була розроблена програма в середовищі Mathcad [8].

За результатами досліджень отримано залежності годинної витрати палива та сумарних масових викидів, зведених до CO, від діапазону зміни крутного моменту в циклі від 0 до M_{kmax} , за різних методів регулювання потужності (Рис. 7).

При переході до КМРП спостерігається покращення паливної економичності в середньому на 15,68% для всіх діапазонів зміни крутного моменту в циклі до $M_{kmax}=80$ Нм. Встановлено, що для сукупності циклів, які характеризуються різними діапазонами навантажень в циклі тривалістю $t_{ц} = 4$ с за роботи двигуна з відключеними циліндрами при використанні каталітичного нейтралізатора сумарні масові викиди шкідливих речовин, зведених до CO, зменшуються в діапазоні зміни крутного моменту в циклі до 45 Нм, в середньому на 17,94%.

Висновки

За результатами проведених експериментальних і розрахункових досліджень встановлено, що заміна методу регулювання потужності бензинового двигуна з системою впорскування і зворотнім

зв'язком, обладнаного нейтралізатором, дроселюванням методом комбінованого регулювання з відключенням групи циліндрів:

- покращує паливну економичність двигуна в режимах малих навантажень і холостого ходу;

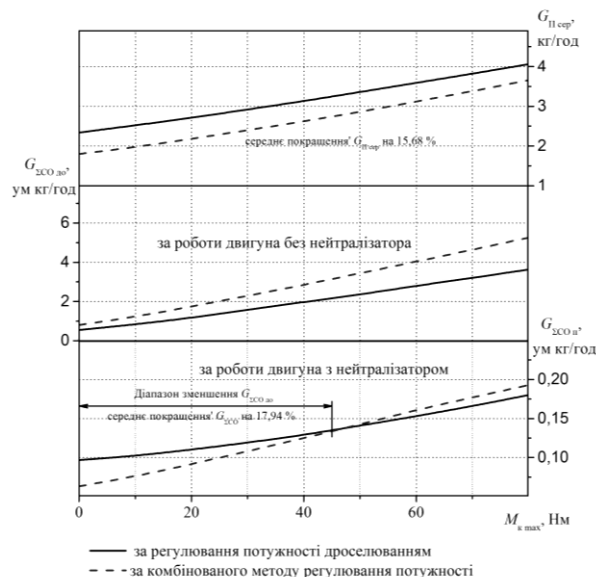


Рис. 7. Вплив діапазону зміни крутного моменту в циклі на паливну економичність та сумарну токсичність двигуна 6Ч 9,5/6,98 за різних методів регулювання потужності

- при застосуванні рециркуляції ВГ не призводить до погіршення екологічних показників двигуна, а в деяких режимах поліпшує їх;

- при використанні системи автоматичної зміни кута відкриття дросельної заслінки в процесах відключення і включення групи циліндрів забезпечує практично безударну зміну крутного моменту і тривалість перехідного процесу 1 циклу.

Список літератури:

1. Чудаков Е.А. Пути повышения экономичности автомобиля. - М.-Л.: Издательство АН СССР, 1948. - 167 с.
2. Колосов В.А. Экономия топлива путем выключения отдельных цилиндров. - Автомобиль, 1946, № 5-6, с. 8; 3. Диваков Н.В. Регулирование мощности автомобильного двигателя отключением цилиндров. - Сб. Вопросы машиноведения. - М.: Издательство АН СССР, 1950, 606 с. С.157-165.; 4. Меламед М.Н. Экономия бензина путем выключения цилиндров. - Автомобиль, 1949, № 3, с. 11-13.; Калинин В., Лобза В. Экономия топлива путем отключения цилиндров двигателя. - Автомобильный транспорт, 1954, № 4, с.12-13. 5. Дядченко В.Л. Покращення паливної економічності багатоциліндрових двигунів з впорскуванням бензину в режимах малих навантажень і холостого ходу: Дис. канд. техн. наук: 05.05.03/ Нац. транс. ун-т. - К., 2010. 6. Гутаревич Юрій Вплив рециркуляції відпрацьованих газів на паливну економічність та екологічні показники сучасного бензинового двигуна/ Гутаревич Юрій, Карев Станіслав/ Systems and means of motor transport (selected problems), Rzeszow 2011 - С.141-147 7. Патент на корисну модель № 28208 МПК (2006) F02M 13/00 «Система живлення багатоциліндрового двигуна внутрішнього згорання з іскровим запалюванням і впорскуванням палива з відключенням групи циліндрів» / Гутаревич Ю.Ф., Корпач А.О., Сирота О.В., Дядченко В.Л. номер заявки: у 2007 09391; дата подання заявки 17.08.2007; дата публікації 26.11.2007. Бюл. №19, с. 4. 8.

Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №37701 Україна. Науковий твір «Математична модель для розрахунку енергетичних параметрів, паливної економічності та екологічних показників бензинового двигуна з системою впорскування в неусталених режимах при регулюванні потужності відключенні групи циліндрів» / О.В. Сирота, М.П. Сельський (Україна). - №37776; заявл.. 02.02.2011; зареєстр. 01.04.2011.

Bibliography (transliterated):

1. Chudakov E.A. Puty povysheniya ekonomichnosti avtomobylya. - M.-L.: Yzdatel'stvo AN SSSR, 1948. - 167 s. 2. Kolosov V.A. Ekonomiya topliva putem vyklyucheniya otidel'nykh tsylindrov. - Avtomobil', 1946, № 5-6, s. 8; 3. Dyvakov N.V. Rehulyrovanye moshchnosti avtomobil'noho dvyhatelya otklyuchenyem tsylindrov. - Sb. Voprosy mashynovedeniya. - M.: Yzdatel'stvo AN SSSR, 1950, 606 s. S.157-165.; 4. Melamed M.N. Ekonomiya benzyna putem vyklyucheniya tsylindrov. - Avtomobil', 1949, # 3, s. 11-13.; Kalynyn V., Lobza V. Ekonomiya topliva putem otklyucheniya tsylindrov dvyhatelya. - Avtomobil'nyy transport, 1954, № 4, s.12-13. 5. Dyadchenko V.L. Pokrashchennyya palyvnoyi ekonomichnosti bahatotsylindrovyykh dvyhunyv z vporskuvanniam benzynu v rezhymakh malyykh navantazhen' i kholostoho khodu: Dys. kand. tekhn. nauk: 05.05.03/ Nats. trans. un-t. - K., 2010. 6. Hutarevych Yuriy Vplyv retsykulyatsiyi vidprats'ovanykh haziv na palyvnu ekonomichnist' ta ekolohichni pokaznyky suchasnoho benzynovoho dvyhuna/ Hutarevych Yuriy, Karev Stanislav/ Systems and means of motor transport (selected problems), Rzeszow 2011 - S.141-147 7. Patent na korysnu model' # 28208 MPK (2006) F02M 13/00 «Systema zhyvlenniya bahatotsylindrovoho dvyhuna vnutrishn'oho z-horyannya z iskrovym zapalyuvanniam i vporskuvanniam palyva z vidklyuchennyam hrupy tsylindriv» / Hutarevych Yu.F., Korpach A.O., Syrota O.V., Dyadchenko V.L. nomer zayavky: u 2007 09391; data podannya zayavky 17.08.2007; data publikatsiyi 26.11.2007. Byul. №19, s. 4. 8. Svidotstvo pro reyestratsiyu avtors'koho prava na tvir №37701 Ukrayina. Naukovyy tvir «Matematychna model' dlya rozrakhunku enerhetychnykh parametriv, palyvnoyi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv benzynovoho dvyhuna z systemoyu vporskuvannya v neustalenykh rezhymakh pry rehulyuvanni potuzhnosti vidklyuchenni hrupy tsylindriv» / O.V. Syrota, M.P. Syel's'kyu (Ukrayina). - №37776; zayavl.. 02.02.2011; zareyestr. 01.04.2011.

Надійшла в редакцію 14.05.2015 р.

Гутаревич Юрій Феодосиевич – доктор техн. наук, професор, завідувач кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: yfgutarevich@gmail.com.

Сирота Олександр Вадимович - канд. техн. наук, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: karsv.dvz@gmail.com.

Карев Станіслав Володимирович – канд. техн. наук, асистент кафедри «Двигуни і теплотехніка», Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: cirshu@gmail.com .

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ТОПЛИВНУЮ ЭКОНОМИЧНОСТЬ СОВРЕМЕННОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ю.Ф. Гутаревич, А.В. Сирота, С.В. Карев

В данной статье представлены результаты экспериментальных и расчетных исследований по использованию комбинированного метода регулирования мощности (КМРМ) на бензиновом двигателе с системой впрыска, нейтрализатором и обратной связью. Установлена эффективность применения рециркуляции отработавших газов, как метода по снижению концентраций оксидов азота, при КМРП на современном бензиновом двигателе. Определена эффективность применения КМРП по улучшению топливной экономичности и экологических показателей в переходных режимах двигателя.

IMPACT OF THE METHOD OF POWER CONTROL ON THE ECOLOGICAL PERFORMANCE AND THE ECONOMY OF A FUEL IN THE CONTEMPORARY GASOLINE ENGINE

Y.F.Gutarevich, O.V.Sirota, S.V.Karev

In the article presents the results of experimental and theoretical studies on the use of the combined method of power control (CMPC) of the petrol engine with fuel injection, catalytic converter and feedback. The efficiency of the use of exhaust gas recirculation, as a method for reducing the concentration of nitrogen oxides on the modern gasoline engines with CMPC. The efficiency of using CMPC to improve the fuel efficiency and ecological performance in the transitional modes of the engine.