

УДК 621.43-543.3
UDC 621.43-543.3

КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ – ОДИН З НАПРЯМІВ
ПОКРАЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ І ЕКОЛОГІЧНИХ
ПОКАЗНИКІВ БЕНЗИНОВИХ ДВИГУНІВ

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Сирота О.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна
Карев С.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна

COMBINED METHOD OF POWER CONTROL – ONE DIRECTION OF IMPROVING FUEL
ECONOMY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE GASOLINE ENGINES

Gutarevich Y.F. Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine
Sirota A.V. Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine
Karev S.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ – ОДИН ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ
УЛУЧШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Гутаревич Ю.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Сирота А.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Карев С.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Вступ. Відомо, що однією з причин погіршення паливної економічності бензинових двигунів в режимах малих навантажень та холостого ходу є прийнятий метод регулювання потужності - дроселюванням паливоповітряної суміші. Так як названі режими є основними при русі транспортних засобів, покращення паливної економічності в цих режимах є однією з основних умов економії бензину автомобілями в умовах експлуатації. Відомо декілька напрямів покращення паливної економічності в режимах часткових навантажень і холостого ходу. Одним з них є комбінований метод регулювання потужності (КМРП), суть якого полягає у відключенні групи циліндрів припиненням подачі палива в названих режимах і дроселюванні працюючої групи циліндрів.

Мета роботи: покращення паливної економічності і екологічних показників двигуна з системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком удосконаленням комбінованого методу регулювання потужності.

Рішення задачі. На кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету продовжуються дослідження по застосуванню КМРП на бензинових двигунах. В останні роки ці дослідження проводяться на сучасних бензинових двигунах з системою впорскування та зворотнім зв'язком.

На початковому етапі проводились дослідження двигуна 6Ч 9,5/6,98 з системою впорскування та зворотнім зв'язком за роботи в сталих режимах [1]. На рис. 1 показані залежності показників двигуна 6Ч 9,5/6,98 обладнаного нейтралізатором від навантаження, з яких можна зробити наступні висновки:

- експериментальні дослідження підтвердили ефективність застосування КМРП з точки зору покращення паливної економічності в режимах часткових навантажень і холостого ходу. Так, в діапазоні навантаження від $N_e=0$ кВт до $N_e=14$ кВт спостерігається зменшення годинної витрати палива $G_{\text{п}}$ в середньому на 8%;

- з точки зору екологічних показників метод КМРП не вплинув на зміну концентрацій оксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n , двооксиду вуглецю CO_2 майже співпадають за роботи на шести та трьох циліндрах, концентрації оксидів азоту NO_x залишилися дещо вищими в порівнянні з роботою на 6-ти циліндрах. Внаслідок такої зміни концентрацій ШР у ВГ двигуна сумарні масові викиди $G_{\Sigma\text{CO}}$, зведені до CO вищі в порівнянні з роботою на всіх циліндрах.

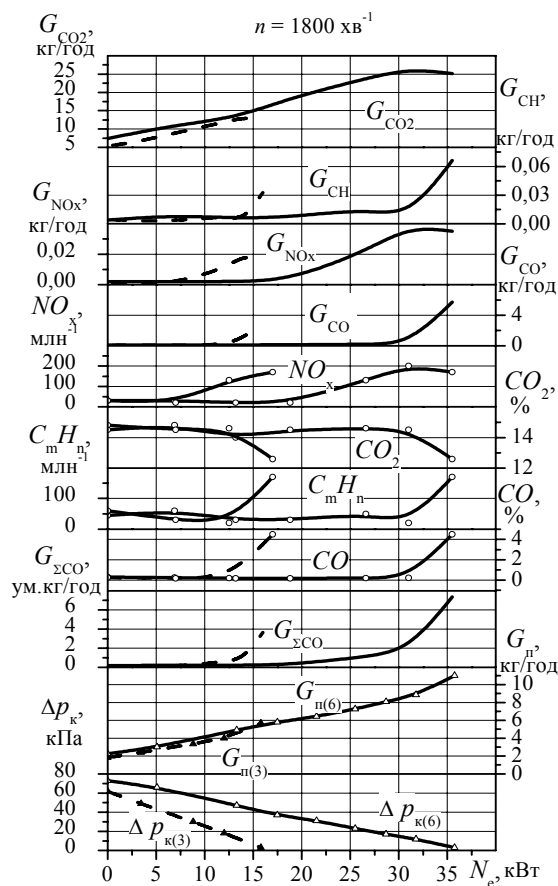


Рисунок 1 – Залежності показників двигуна 6Ч 9,5/6,98 обладнаного нейтралізатором від навантаження: — - за роботи на 6-ти циліндрах; - - - - за роботи на 3-х циліндрах

Таке зростання концентрацій оксидів азоту NO_x пояснюється тим, що при роботі на трьох циліндрах збільшується максимальна температура циклу, що спричиняє більш інтенсивне утворення оксидів азоту.

Наступний етап був направлений на дослідження впливу КМРП на показники двигуна в неусталених режимах. Були проведені серії стендових досліджень двигуна 6Ч 9,5/6,98 за роботи в циклі «розгін – уповільнення» [2].

Результати досліджень показують, що перехід від дроселювання всіх циліндрів до КМРП зменшує витрату палива на 7,8 – 12 % в навантажувальних режимах і до 23,9 % в режимах холостого ходу.

Розроблено математичну модель руху [3] двигуна в неусталених режимах за різних методів регулювання потужності, адекватність якої підтверджена експериментами. Розрахунками показана можливість покращення паливної економічності двигуна 6Ч 9,5/6,98 в неусталених режимах при переході до КМРП: в циклах з однаковим діапазоном зміни крутного моменту від 0 до $M_{k\max}=80$ Нм, в інтервалі зміни тривалості циклу від 4 с до 8 с - на 7,48 %; в циклах з тривалістю циклу $t_{ци} = 4$ с з різними діапазонами навантажень від 0-0 Нм до 0-80 Нм – на 15,68 %. В циклах без навантаження в діапазоні зміни частоти обертання $n_d=1500-2000$ хв⁻¹ економія палива складає, в середньому, 23,08 %. Визначено, що при роботі двигуна з системою нейтралізації в неусталених режимах в циклах розгін-уповільнення при переході до комбінованого методу зменшуються сумарні масові викиди шкідливих речовин, зведені до CO , за роботи в діапазоні навантажень 0...45 Нм в середньому на 17,94 %. Тому момент зміни кількості працюючих циліндрів доцільно встановити при $M_k=45$ Нм.

За результатами даних досліджень по застосуванню КМРП на сучасному бензиновому двигуні підтвердився основний недолік даного методу, а саме зростання загальної токсичності двигуна, внаслідок зростання концентрацій оксидів азоту у працюючій групі циліндрів. Тому, в подальших дослідженнях звернуто увагу на заходи, які забезпечують зниження вмісту зокрема оксидів азоту у ВГ для покращення екологічних показників двигунів при застосуванні КМРП.

Одним з найбільш простих та ефективних методів усунення даного недоліку є рециркуляція ВГ. Суть даного методу полягає в поверненні частини ВГ з випуску знову на впуск, внаслідок чого сповільнюється реакція окислення та зменшується температура циклу [4].

Для дослідження впливу рециркуляції ВГ на паливну економічність та екологічні показники бензинового двигуна з системою впорскування та зворотнім зв'язком при КМРП визначили оптимальний коефіцієнт рециркуляції для навантажувального і швидкісного режиму, який широко використовується в умовах експлуатації, і відповідає середній точці міського Європейського їздового циклу для категорії автомобілів М1 (частота обертання колінчастого вала $n=2000 \text{ хв}^{-1}$ та відкриття дросельної заслінки $\phi_{др}=15^\circ$).

Вплив величини коефіцієнта рециркуляції ВГ на паливну економічність та екологічні показники двигуна 6Ч 9,5/6,98 за регульовальною характеристикою для вказаного режиму [5] показано на рис. 2, з якого видно, що при збільшенні коефіцієнта рециркуляції $R_{ВГ}$ годинна витрата повітря $G_{пов}$ зменшується за рахунок заміщення частини повітря рециркульованими відпрацьованими газами. В результаті цього, система управління двигуна, для підтримування коефіцієнта надміру повітря α близько 1.0, зменшує циклову подачу бензину, за рахунок чого зменшується годинна витрата палива $G_{п}$ і, як наслідок, зменшується ефективна потужність двигуна N_e .

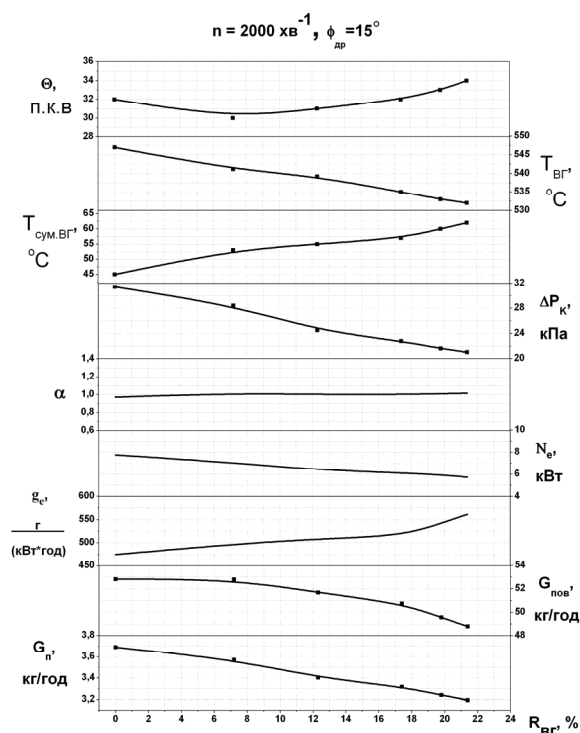


Рисунок 2 – Вплив коефіцієнта рециркуляції на показники двигуна 6Ч9,5/6,98

В результаті додавання гарячих ВГ до повітря у впускний колектор, зростає температура суміші, за рахунок чого зростає абсолютний тиск, і відповідно зменшується розрідження у впускному колекторі ΔP_k , завдяки чому зменшуються насосні втрати на впуску.

Кут випередження запалювання θ майже не змінюється при збільшенні коефіцієнта рециркуляції ВГ $R_{ВГ}$.

Зі збільшенням коефіцієнта рециркуляції $R_{ВГ}$, питома ефективна витрата палива g_e зростає, а температура відпрацьованих газів $T_{ВГ}$ зменшується, внаслідок відведення теплоти, яка виділяється під час згоряння палива, до рециркульованих відпрацьованих газів, які знаходяться в складі робочої суміші.

Температура суміші рециркульованих відпрацьованих газів та повітря $T_{\text{сумВГ}}$, яка потрапляє до відключеної групи циліндрів, зі збільшенням коефіцієнта рециркуляції ВГ зростає. Це відбувається внаслідок заміщення частини повітря рециркульованими відпрацьованими газами з більш високою температурою.

На рис. 3 показано вплив коефіцієнта рециркуляції на концентрації шкідливих речовин з ВГ двигуна 6Ч 9,5/6,98, з якого видно, що при збільшенні коефіцієнта рециркуляції $R_{ВГ}$ концентрації оксидів азоту C_{NOx} зменшуються. При цьому, концентрації оксиду вуглецю C_{CO} та концентрації

двооксиду вуглецю C_{CO_2} залишаються майже незмінними за рахунок підтримки системою управління двигуна складу паливовоздушної суміші, близького до стехіометричного.

Незначне зростання концентрацій вуглеводнів C_{CmHn} у складі відпрацьованих газів можна пояснити зменшенням температури циклу.

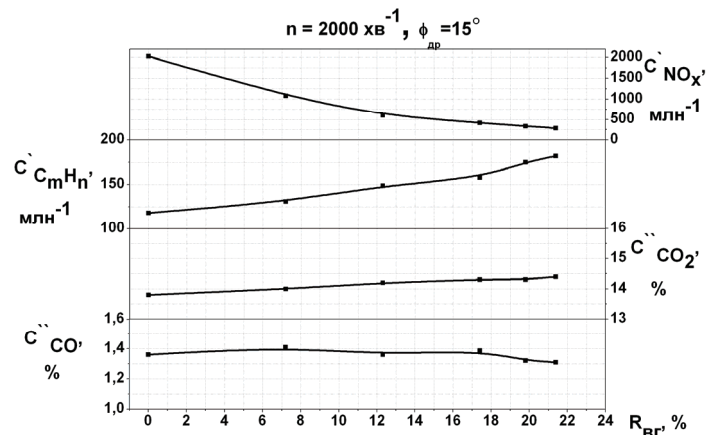


Рисунок 3 – Вплив коефіцієнта рециркуляції на концентрації шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигуна 6C9,5/6,98

Оптимальний коефіцієнт рециркуляції R_{BG} визначений в залежності від інтенсивності протікання питомої ефективної витрати палива g_e та концентрації оксидів азоту NO_x . Для даного швидкісного та навантажувального режиму оптимальне значення коефіцієнта рециркуляції близьке $R_{BG}=12\%$.

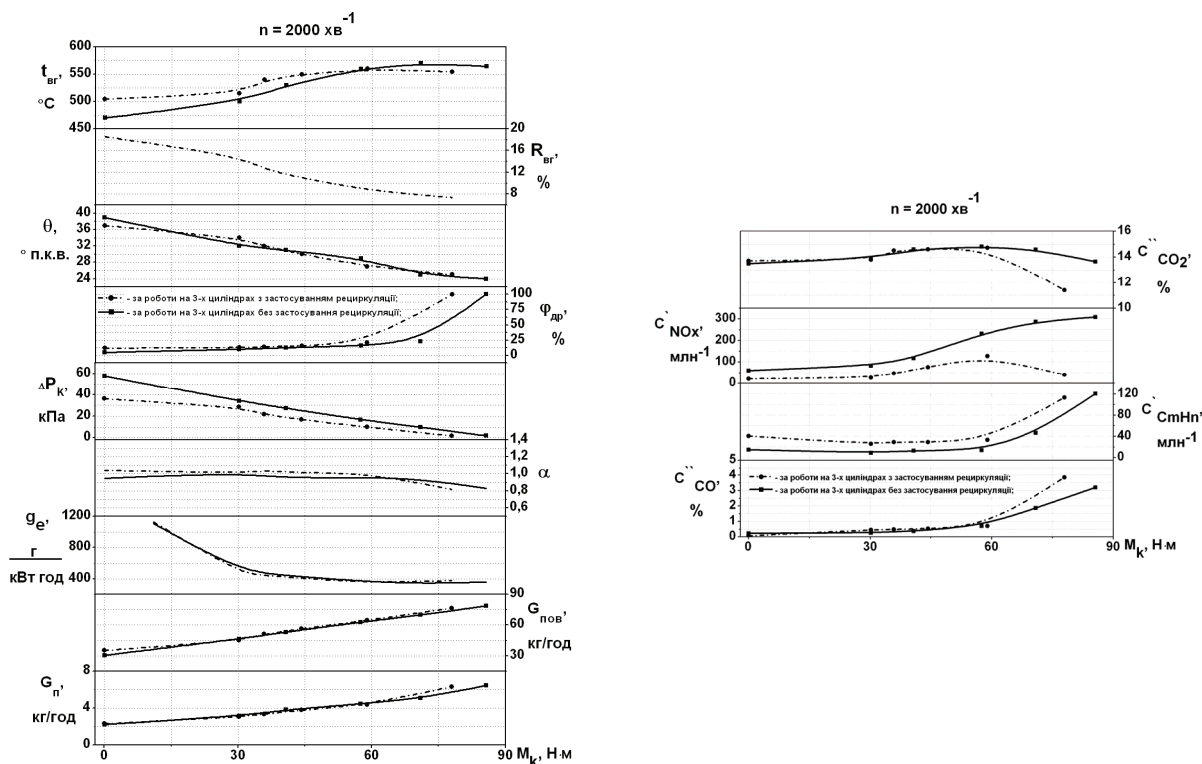


Рисунок 5 – Залежності показників двигуна 6C9,5/6,98 від навантаження

При налаштуванні рециркуляції ВГ $R_{BG}=12\%$, за режиму роботи $n=2000 \text{ хв}^{-1}$ та $\phi_{др}=15^\circ$, визначались навантажувальні характеристики в різних швидкісних режимах. Для прикладу на рис. 5 показані навантажувальні характеристики, визначені за частоти обертання 2000 хв^{-1} [6]. Коефіцієнт рециркуляції R_{BG} по навантажувальній характеристиці змінюється від 7%, за максимальної потужності для даного швидкісного режиму, до 19% в режимі холостого ходу.

З показаних характеристик видно, що система зворотного зв'язку забезпечує склад паливоповітряної суміші близький до стехіометричного ($\alpha \approx 1.0$) в усіх навантажувальних режимах, як без рециркуляції так і з рециркуляцією відпрацьованих газів. Це й визначає майже однакові залежності годинної (G_p) і питомої (g_e) витрат бензину від крутного моменту в навантажувальних режимах. В режимі $18 < M_k < 65$ Н·м має місце незначне покращення паливної економічності, що може бути пояснено зменшенням насосних втрат. Для даного швидкісного режиму рециркуляція недоцільна при кутах відкриття дросельної заслінки $\varphi_{др}$ менше 12%. Рециркуляція недоцільна також при повних навантаженнях, де має місце збагачення суміші. Крім того, в цих режимах рециркуляція погіршує енергетичні показники. При $\varphi_{др} > 27\%$ рециркуляцію доцільно відключати.

Як видно з наведених характеристик, рециркуляція відпрацьованих газів майже не впливає на концентрації оксидів вуглецю C_{CO} . Концентрації вуглеводнів C_{CmHn} при застосуванні рециркуляції зростають в середньому в 2 рази. При цьому, застосування рециркуляції дозволяє знизити концентрації двооксиду вуглецю C_{CO_2} , що є позитивним.

Як зазначалось вище, основним призначенням застосування рециркуляції є зниження викидів оксидів азоту. Як видно за наведених характеристик, концентрації оксидів азоту C_{NOx} , при застосуванні рециркуляції, знижуються в середньому на 45%.

На рис. 6 показані залежності зміни масових викидів ШР з ВГ двигуна 6Ч 9,5/6,98 обладнаного нейтралізатором. Масові викиди оксидів азоту G_{NOx} , і, як наслідок, сумарні масові викиди $G_{\Sigma CO}$, зведені до СО при застосуванні рециркуляції ВГ при роботі на 3-х циліндрах суттєво зменшились в порівнянні з роботою на 3-х циліндрах без застосування рециркуляції ВГ, але залишились незначно вищими в порівнянні з роботою на 6-ти циліндрах. При цьому, застосування рециркуляції ВГ при роботі на 3-х циліндрах майже не вплинуло на масові викиди оксиду вуглецю G_{CO} та двооксиду вуглецю G_{CO_2} . При цьому масові викиди вуглеводнів G_{CmHn} дещо зросли в порівнянні з роботою на 3-х циліндрах без застосування рециркуляції ВГ.

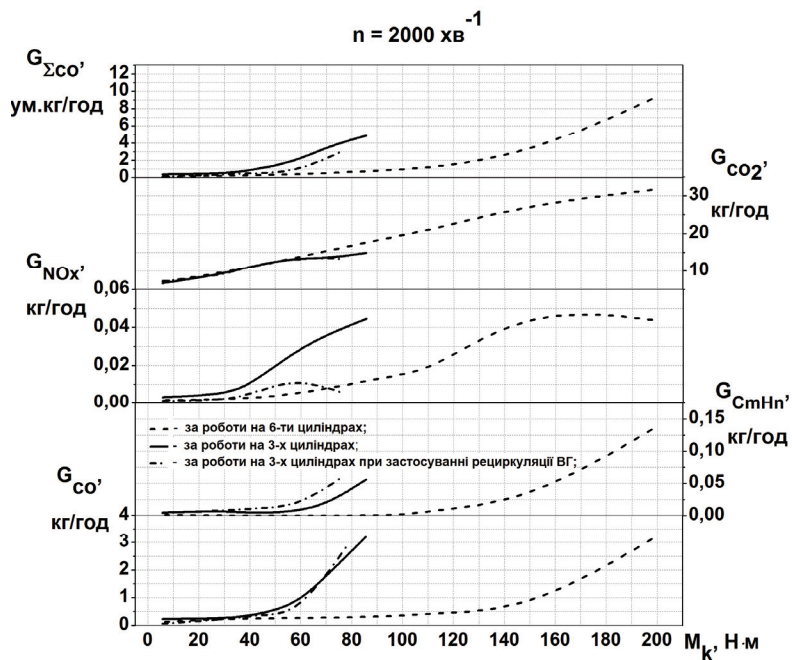


Рисунок 6 – Залежності зміни масових викидів ШР з ВГ двигуна 6Ч 9,5/6,98 обладнаного нейтралізатором від навантаження

Висновок. Таким чином, численні дослідження комбінованого методу регулювання потужності підтвердили можливість покращення паливної-економічності та екологічних показників сучасного бензинового двигуна з системою впорскування та зворотнім зв'язком.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дядченко В.Л. Підвищення паливної економічності багаточиліндрових двигунів з впорскуванням бензину на режимах малих навантажень та холостого ходу: Дис... канд. техн. наук: 05.05.03 – К., 2010.
2. Гутаревич Ю.Ф. Дослідження показників двигуна з системою впорскування бензину в процесах розгону при регулюванні потужності відключенням групи циліндрів / Ю.Ф. Гутаревич, А.В. Сирота // Проблеми транспорту: Збірник наукових праць – К.: НТУ, 2009. – Вип. 6. – С. 159–164.

3. Сирота О.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатociліндрового бензинового двигуна застосування комбінованого методу регулювання потужності: Дис... канд.. техн.. наук: 05.05.03. – К., 2011.

4. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. // М., 1973. – 200 с.

5. 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

6. Гутаревич Ю.Ф Поліпшення показників багатociліндрових бензинових двигунів застосуванням удосконаленого комбінованого методу регулювання потужності / Гутаревич Ю.Ф., Сирота, О.В., Карев С.В. // Вісті Автомобільного-дорожнього інституту №1(12), Горлівка 2011, –С.47-51

REFERENCES

1. Dyadchenko V.L. Improving fuel economy multicylinders injection gasoline engines for small loads and modes of idling : Dis ... candidate. Sc. sciences: 05.05.03 - K. , 2010. (Ukr)

2. Gutarevych Y.F. Research performance engine with gasoline injection system in the processes of dispersal in the regulation of power disconnects cylinders / Y.F. Gutarevych, A.V. Sirota // Problems of transport: Collected Works - C. : NTU , 2009. - Vol. 6. - P. 159-164 . (Ukr)

3. A.V. Sirota Improved fuel efficiency and environmental performance gasoline engine application bahatotsylindrovoho combined power control method : Dis ... candidate .. Sc .. sciences: 05.05.03 . - K. , 2011. (Ukr)

4. Zvonov V.A. Toxicity of the internal combustion engines // Moscow , 1973. - 200 p. (Rus)

5. Gutarevych Jury Impact exhaust gas recirculation for fuel efficiency and environmental performance of modern gasoline engine / Gutarevych Yuri, Karev Stanislav / Systems and means of motor transport (selected problems), Rzeszow 2011 - p.141 -147. (Ukr)

6. Gutarevych Y.F. Improvements multicylinders gasoline engines using the improved method combined power control / Gutarevych Y.F., Sirota A.V., Karev S.V. // Proceedings of the Automobile and Highway Institute № 1 (12), Gorlivka 2011 , pp.47 -51. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Гутаревич Ю.Ф. Комбінований метод регулювання потужності – один з напрямів покращення паливної економічності і екологічних показників бензинових двигунів / Ю.Ф. Гутаревич, О.В. Сирота, С.В. Карев // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – Вип. 29.

В статті наведений аналіз досліджень комбінованого методу регулювання потужності на багатociліндрових бензинових двигунах з системою впорскування та зворотнім зв'язком проведених на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету.

Ці дослідження показали, що застосування комбінованого методу регулювання потужності на сучасному бензиновому двигуні з системою впорскування із зворотнім зв'язком дозволяє покращити паливну економічність двигуна як в усталених, так і в неусталених режимах. А недолік даного методу регулювання потужності, пов'язаний з збільшенням викидів оксидів азоту, усувається застосуванням рециркуляції ВГ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ, РЕЦИКУЛЯЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

ABSTRACT

Hutarevich Y. F., Sirota O.V., Karev S.V. The combined method of power control is one of the ways of improving fuel efficiency and environmental performance of gasoline engines. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, 2014. – Issue 29.

The article mentions the analysis of the research on combined method of power control of multiple-cylinder gasoline engines with injection system and feedback. The research was performed by “Engines and heating engineering” department of National Transport University.

This research showed that the usage of combined method of power control of modern gasoline engines with injection system and feedback allows the engine to improve fuel efficiency in both stable and unstable conditions.

The disadvantage of this of power control method is associated with an increase in nitrogen oxide emissions. This disadvantage is eliminated by usage of exhaust gas recirculation.

KEYWORDS : ENGINE, FUEL EFFICIENCY, ENVIRONMENTAL PERFORMANCE, THE COMBINED METHOD OF POWER CONTROL, EXHAUST GAS RECIRCULATION

РЕФЕРАТ

Гутаревич Ю.Ф. Комбинированный метод регулирования мощности – один из направлений улучшения топливной экономичности и экологических показателей бензиновых двигателей / Ю.Ф. Гутаревич, А.В. Сирота, С.В. Карев // Вестник Национального транспортного университета. Научно-технический сборник: в 2 ч. Ч. 1: Серия «Технические науки». – К. : НТУ, 2014. – Вып. 29.

В статье представлен анализ исследований комбинированного метода регулирования мощности на многоцилиндровых бензиновых двигателях с системой впрыска и обратной связью проведенных на кафедре «Двигатели и теплотехника» Национального транспортного университета.

Данные исследования показали, что применение комбинированного метода регулирования мощности на современном бензиновом двигателе с системой впрыска с обратной связью позволяет улучшить топливную экономичность двигателя как в установившихся, так и в неустановившихся режимах. Недостаток данного метода регулирования мощности, связанный с ухудшением экологических показателей, устраняется применением рециркуляции ОГ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДВИГАТЕЛЬ, ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ, РЕЦИКУЛЯЦИЯ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

АВТОРИ:

Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуючий кафедрою “Двигуни і теплотехніка”, e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 302.

Сирота Олександр Вадимович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри “Двигуни і теплотехніка”, e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

Карев Станіслав Володимирович, асистент кафедри “Двигуни і теплотехніка”, e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

AUTHOR:

Gutarevich Yuriy F. Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of the department "Engines and heating engineering", e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 302.

Sirota Alexandr V. Ph.D., National Transport University, associate professor department "Engines and heating engineering", e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 303a.

Karev Stanislav V., assistant department "Engines and heating engineering", e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str.1, of 303a.

АВТОРЫ:

Гутаревич Юрий Феодосиевич, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой "Двигатели и теплотехника", e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 302.

Сирота Александр Вадимович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры "Двигатели и теплотехника", e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 303а.

Карев Станислав Владимирович, асистент кафедры "Двигатели и теплотехника", e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 303а.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Дикий М.О., доктор технічних наук, професор, НТУУ «КПІ», професор кафедри «Теоретичної та промислової теплотехніки»

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуючий кафедри «Автомобілі», Київ, Україна.

REVIEWER:

Dikiy M.O., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, NTUU «KPI», professor, department of «Theoretical and industry heating engineering»

Sakhno V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of «Automobiles», Kyiv, Ukraine.