

УДК 629.331  
UDC 629.331

**ОЦІНКА ВПЛИВУ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ РЕГУЛЮВАННЯ  
ПОТУЖНОСТІ ТА РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ НА ПАЛИВНУ  
ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ,  
ОБЛАДНАНОГО СУЧАСНИМ БЕНЗИНОВИМ ДВИГУНОМ**

*Karev S.V.*, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

**EVALUATION OF COMBINED METHOD OF POWER CONTROL AND EXHAUST GAS  
RECIRCULATION ON EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF CARS  
EQUIPPED WITH MODERN GASOLINE ENGINES**

*Karev S.V.*, Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЕ  
МОЩНОСТИ И РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ НА ТОПЛИВНУЮ  
ЭКОНОМИЧНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АВТОМОБИЛЯ,  
ОБОРУДОВАННОГО СОВРЕМЕННЫМ БЕНЗИНОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

*Karev S.V.*, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

**Вступ.** В Національному транспортному університеті на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» продовжуються дослідження по застосуванню комбінованого методу регулювання потужності (КМРП) на сучасному бензиновому двигуні з системою впорскування та зворотнім зв'язком обладнаному нейтралізатором відпрацьованих газів [1]. Суть даного методу полягає у припиненні подачі палива до частини циліндрів в режимах малих навантажень та холостого ходу, при цьому необхідну потужність розвиває працююча група циліндрів.

За результатами проведених стендових випробувань двигуна 6Ч 9,5/6,98 отримано, що в режимах малих навантажень та холостого ходу при роботі двигуна на частині циліндрів покращується паливна економічність, але при цьому спостерігається погіршення екологічних показників, внаслідок зростання концентрації оксидів азоту [2].

Одним з найбільш ефективних методів зниження концентрацій оксидів азоту є рециркуляція відпрацьованих газів (РВГ) [3,4]. Проведені експериментальні дослідження на двигуні 6Ч9,5/6,98 при КМРП показали, що при застосуванні РВГ знижуються концентрації оксидів азоту NO<sub>x</sub>, що призводить до зниження сумарних масових викидів шкідливих речовин, приведених до СО, а також до незначного покращення паливної економічності в режимах малих навантажень [5].

**Мета роботи:** оцінка ефективності застосування КМРП та РВГ шляхом визначення паливної економічності та екологічних показників автомобіля при русі за режимами Європейського їздового циклу.

**Рішення задачі.**

Для оцінки ефективності застосування КМРП та РВГ доцільно визначити паливну економічність та екологічні показники автомобіля при русі за режимами Європейського їздового циклу [6]. Для цього на кафедрі «Двигуни і теплотехніка» Національного транспортного університету [7] розроблено математичну модель руху транспортного засобу за фрагментом міського їздового циклу, яка дозволяє отримати показники паливної економічності та екологічні показники транспортного засобу. Додатково до математичної моделі внесені уточнення, які враховують особливості застосування КМРП та РВГ.

Вихідними даними для математичної моделі є поліноміальні залежності, отримані опрацюванням результатів стендових досліджень двигуна 6Ч 9,5/6,98 а саме, навантажувальних характеристик, характеристик активного та примусового холостого ходу, які описують основні показники двигуна в залежності від частоти обертання колінчастого вала та крутного моменту двигуна.

Для того щоб врахувати особливості застосування КМРП в математичну модель руху транспортного засобу за фрагментом міського їздового циклу закладено умову, при якій відбувається

переключення з 6-ти циліндрів на 3-и циліндри, і навпаки. Момент переключення можливо визначити однією з наступних умов:

- отримання найкращої паливної економічності;
- отримання покращених екологічних показників.

Перша умова виконуватиметься тоді, коли момент переключення визначається крутним моментом, при якому робота на 3-х циліндрах стає не економічною. Дана умова визначалась з отриманих експериментальних даних. На рис. 1 показано залежність зміни питомої ефективної витрати палива  $g_e$  від крутного моменту  $M_k$  для 3-х швидкісних режимів. Як видно з рис. 1, крутий момент, при якому необхідно здійснювати переключення (позначено вертикальною рисою), зростає пропорційно зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала.

Особливість застосування РВГ при КМРП за умови отримання найкращої паливної економічності є встановлення меж, за яких РВГ не погіршує паливну економічність. Дані межі за роботи на 3-х циліндрах визначаються з отриманих навантажувальних характеристик двигуна бЧ 9,5/6,98 відносно крутного моменту (рис. 2), при якому не погіршується паливна економічність. Межі крутного моменту, при якому доцільно застосовувати РВГ, змінюються пропорційно (нижня межа) та обернено пропорційно (верхня межа) частоті обертання колінчатого вала.

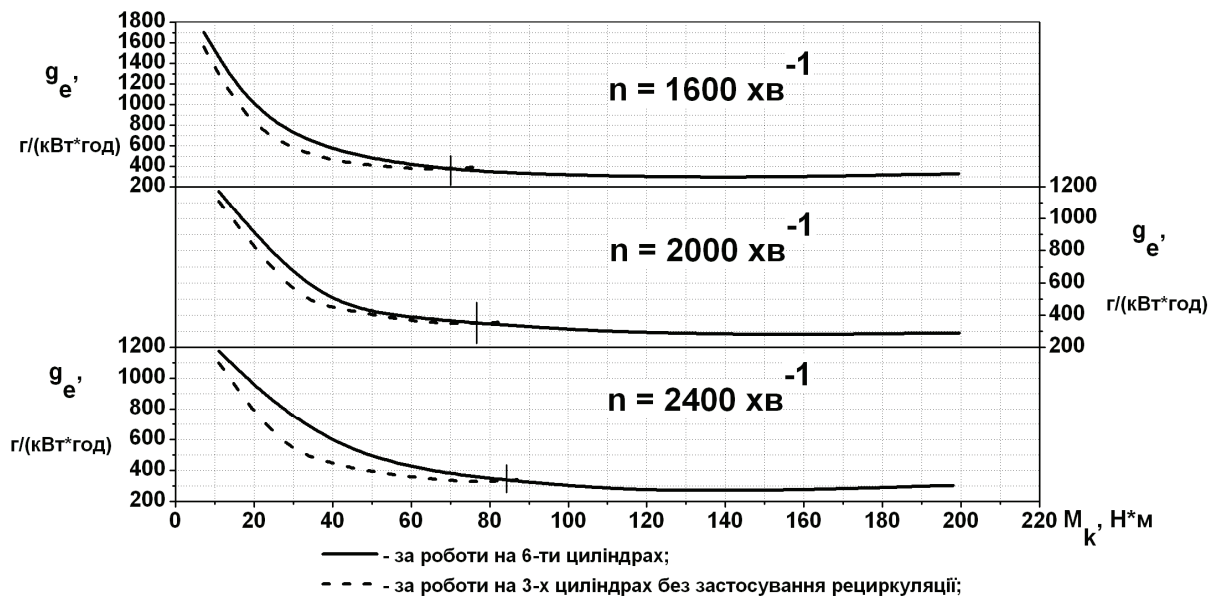


Рисунок 1 - Залежності зміни питомої ефективної витрати палива  $g_e$  від крутного моменту  $M_k$

Друга можлива умова переключення, як зазначалось вище, є отримання найкращих екологічних показників, зокрема на рівні показників на 6-ти циліндрах. Момент переключення з 6-ти циліндрів на 3-ти циліндри з застосуванням РВГ, і навпаки, за цієї умови визначається крутним моментом, при якому робота на 3-х циліндрах з застосуванням РВГ не погіршує екологічні показники за роботи на 6-ти циліндрах (Рис. 3). Крутий момент, при якому необхідно здійснювати переключення, зростає лінійно зі збільшенням частоти обертання колінчатого вала.

Для розрахунку на математичній моделі руху транспортного засобу за режимами Європейського їздового циклу, відповідно до однієї з умов, розроблені алгоритми [8], які враховують моменти переключення з 6-ти циліндрів на 3-ти циліндри, і навпаки (Рис. 4).

Використовуючи математичну модель руху транспортного засобу за режимами Європейського їздового циклу з внесеними до неї відповідними уточненнями, отримані результати розрахунку при роботі двигуна на всіх циліндрах, а також при застосуванні комбінованого методу регулювання потужності та рециркуляції ВГ.

Розрахунок проводився за умови встановлення двигуна, обладнаного нейтралізатором, на автомобіль класу М1 Opel Omega А, параметри якого закладені в математичну модель.

Адекватність моделі підтверджена близькими результатами розрахунку витрати палива та технічними характеристиками автомобіля.

Так, за умови отримання найкращої паливної економічності витрата палива на 100 км при застосуванні КМРП в порівнянні з роботою на всіх циліндрах знизилась з 15.1 до 13.2 л/100км. При

цьому, масові викиди CO і CO<sub>2</sub> знизились з 3.9 до 3.57 г/цикл і з 306 до 270 г/цикл відповідно, масові викиди C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> і NO<sub>x</sub> зросли з 0.417 до 0.472 г/цикл і з 0.071 до 0.134 г/цикл відповідно. Така зміна масових викидів шкідливих речовин при застосуванні КМРП призвела до зростання сумарних масових викидів шкідливих речовин, приведених до CO, з 10.1 до 12.8 ум.г/цикл.

Застосування РВГ при КМРП в порівнянні з КМРП без застосування РВГ за умови найкращої паливної економічності дозволило, при незначному покращенні паливної економічності (на 0.5 л/100км), знизити масові викиди оксидів азоту NO<sub>x</sub> на 0.039 г/цикл, при цьому масові викиди CO та C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> залишились майже незмінними, а масові викиди CO<sub>2</sub> зросли на 18 г/цикл. Відповідно сумарні масові викиди шкідливих речовин, приведених до CO знизились до 10.9 ум.г/цикл, але все рівно залишаються вищими в порівнянні з роботою на 6-ти циліндрах.

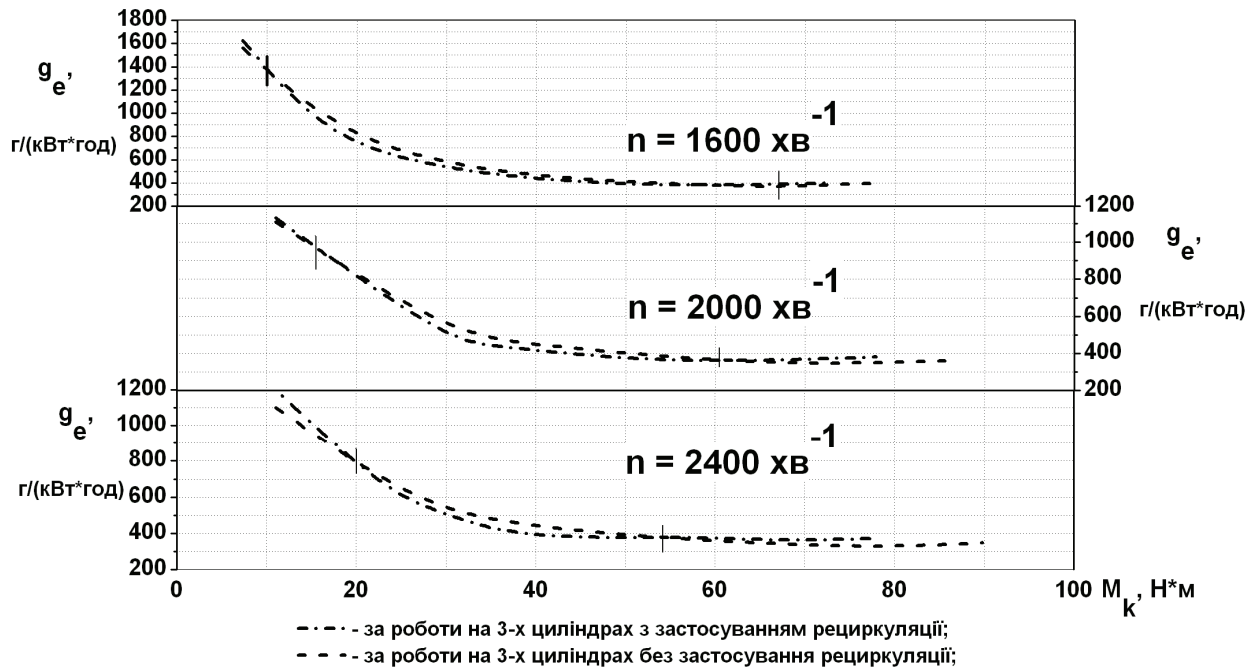


Рисунок 2 - Залежності зміни питомої ефективної витрати палива  $g_e$  від крутного моменту  $M_k$

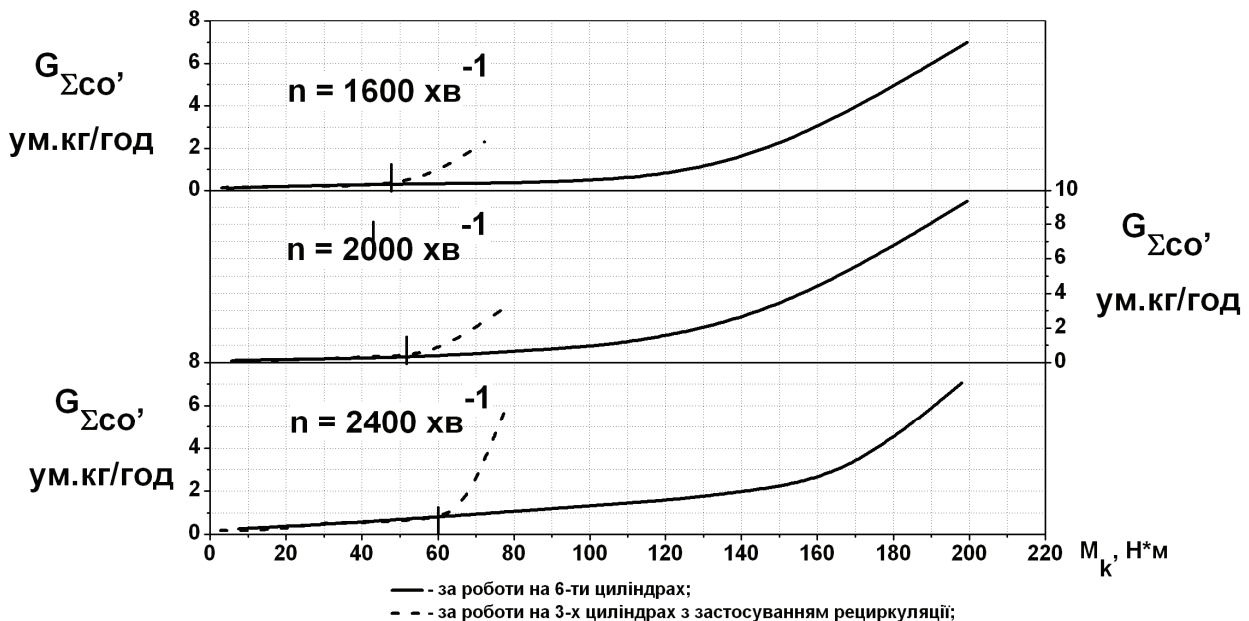


Рисунок 3 - Залежності зміни сумарних масових викидів ШР  $G_{\Sigma CO}$ , зведених до CO від крутного моменту  $M_k$

За результатами розрахунків за умови отримання покращених екологічних показників при застосуванні РВГ при КМРП в порівнянні з роботою за умови найкращої паливної економічності отримано, що витрата палива зросла з 12.7 до 13.1 л/100км, масові викиди CO знизились з 3.57 г/цикл до 3.51 г/цикл, масові викиди  $C_mH_n$  – з 0.472 г/цикл до 0.411 г/цикл, масові викиди  $NO_x$  - з 0.134 г/цикл до 0.067 г/цикл, масові викиди  $CO_2$  зросли з 270 г/цикл до 311 г/цикл, а сумарні масові викиди шкідливих речовин, приведені до CO знизились з 12.8 ум.г/цикл до 9.52 ум.г/цикл.

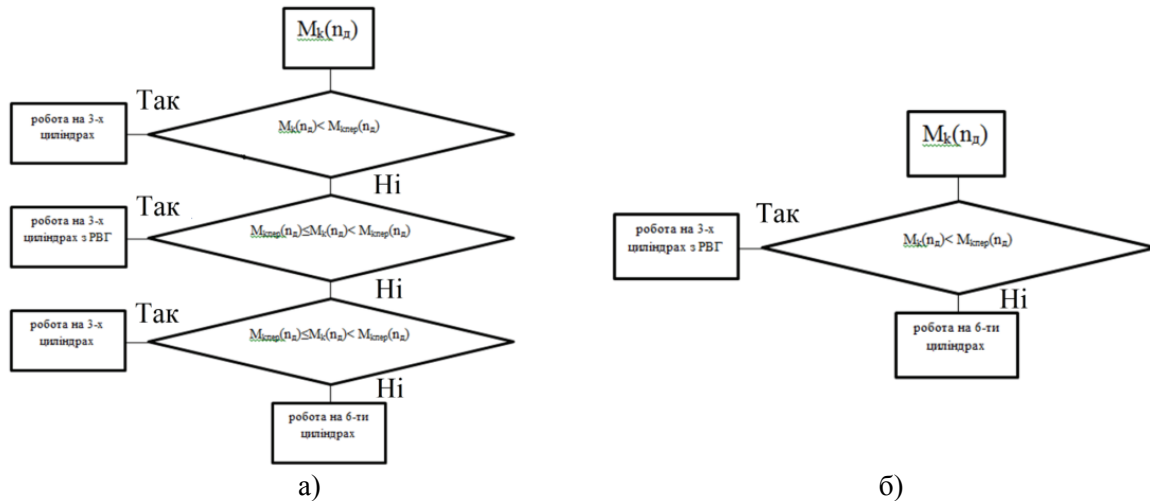


Рисунок 4 - Алгоритми розрахунку на математичній моделі руху транспортного засобу за режимами Європейського їздового циклу, які враховують моменти переключення з 6-ти циліндрів на 3-ти циліндри, і навпаки: а) отримання найкращої паливної економічності; б) отримання покращених екологічних показників.

**Висновок.** Отримані результати розрахунку на математичній моделі руху транспортного засобу за режимами Європейського їздового циклу показали, що застосування КМРП та РВГ дозволяє отримати як покращення паливної економічності, так і покращені екологічні показники автомобіля, обладнаного сучасним бензиновим двигуном.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дядченко В.Л. Підвищення паливної економічності багатоциліндрових двигунів з впорскуванням бензину в режимах малих навантажень і холостого ходу: Дис... канд. техн. наук: 05.05.03. //В.Л.Дядченко - К., 2010 – 172с.
2. Гутаревич Ю.Ф. Комбінований метод регулювання потужності як напрям покращення паливної економічності / Гутаревич Ю.Ф., Сирота, О.В., Карев С.В. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки», Луцьк 2010, Випуск №27. –С.175-179
3. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. // М., 1973. – 200 с.
4. Ковбасенко С.В. Покращення показників багатоциліндрових бензинових двигунів з відключенням групи циліндрів: Дис... канд. техн. наук: 05.05.03. // С.В.Ковбасенко – К., 2000. – 289 с.
5. Гутаревич Ю.Ф. Поліпшення екологічних показників сучасного бензинового двигуна при регулюванні потужності відключенням групи циліндрів / Гутаревич Ю.Ф., Карев С.В. // Автошляховик України: Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру ТАУ: Вип. 14'2011. – К., 2012. – С.29-31
6. Карев С.В. Результати математичного моделювання руху автомобіля за європейським їздовим циклом з застосуванням рециркуляції ВГ / Тези Міжнародної науково-технічної конференції «Комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті». – Луцьк: Кафедра АУВП ЛНТУ, 2012. – 60с. – С.18-10
7. Гутаревич Ю.Ф. Математическая модель системы водитель- автомобиль с бензиновым двигателем- дорога для исследования эксплуатационных факторов на расход топлива и загрязнение окружающей среды автомобилями. – Киев, 1986. – 22с.
8. Карев Станіслав Оцінка ефективності застосування комбінованого методу регулювання потужності та рециркуляції відпрацьованих газів на бензиновому двигуні з використанням математичної моделі руху автомобіля / Карев Станіслав/ Systems and means of motor transport (selected problems), Rzeszow 2014 – С.161-167

## REFERENCES

1. Dyadchenko V.L. Pidvyshchennya palyvnoyi ekonomichnosti bahatotsylindrovyykh dvyhuniv z vporokuvanniam benzynu v rezhymakh malykh navantazhen' i kholostoho khodu: Dys... kand. tekhn. nauk: 05.05.03. //V.L.Dyadchenko - K., 2010 – 172s. (Ukr)
2. Hutarevych Yu.F. Kombinovanyy metod rehulyuvannya potuzhnosti yak napryam pokrashchennya palyvnoyi ekonomichnosti / Hutarevych Yu.F., Syrota, O.V., Karev S.V. // Mizhvuzivs'kyu zbirnyk «Naukovi notatky», Luts'k 2010, Vypusk #27. –S.175-179 (Ukr)
3. Zvonov V.A. Toksychnost' dvyhateley vnutrenneho s-horanyya. // M., 1973. – 200 s. (Rus)
4. Kovbasenko S.V. Pokrashchennya pokaznykiv bahatotsylindrovyykh benzynovykh dvyhuniv z vidklyuchennyam hrupy tsylindriv: Dys... kand. tekhn. nauk: 05.05.03. // S.V.Kovbasenko – K., 2000. – 289 s. (Ukr)
5. Hutarevych Yu.F. Polipshennya ekolohichnykh pokaznykiv suchasnoho benzynovoho dvyhuna pry rehulyuvanni potuzhnosti vidklyuchennyam hrupy tsylindriv / Hutarevych Yu.F., Karev S.V. // Avtoshlyakhovyk Ukrainy: Okremyy vypusk. Visnyk Tsentral'noho naukovoho tsentru TAU: Vyp. 14"2011. – K., 2012. – S.29-31(Ukr)
6. Karev S.V. Rezul'taty matematychnoho modelyuvannya rukhu avtomobilya za yevropeys'kym yizdovym tsyklom z zastosuvanniam retsyrkulyatsiyi VH / Tezy Mizhnarodnoyi nauково-tekhnichnoyi konferentsiyi «Komp'yuterno-intehrovani tekhnolohiyi u vyrobnytstvi ta osviti». – Luts'k: Kafedra AUVP LNTU, 2012. – 60s. – S.18-10 (Ukr)
7. Hutarevych Yu.F. Matematycheskaya model' systemy vodytel'- avtomobyl' s benzynovym dvyhatelem- doroha dlya yssledovanyya yekspluatatsyonnykh faktorov na rashhod toplyva y zahryaznenye okruzhayushchey sredy avtomobilyamy. – Kyev, 1986. – 22s. (Rus)
8. Karev Stanislav Otsinka efektyvnosti zastosuvannya kombinovanoho metodu rehulyuvannya potuzhnosti ta retsyrkulyatsiyi vidprats'ovanykh haziv na benzynovomu dvyhuni z vykorystanniam matematychnoyi modeli rukhu avtomobilya / Karev Stanislav/ Systems and means of motor transport (selected problems), Rzeszow 2014 – S.161-167 (Ukr)

## РЕФЕРАТ

Карев С.В. Оцінка впливу комбінованого методу регулювання потужності та рециркуляції відпрацьованих газів на паливну економічність та екологічні показники автомобіля, обладнаного сучасним бензиновим двигуном / С.В. Карев // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2016. – Вип. 1 (34).

В даній статті представлені результати розрахунку на математичній моделі руху автомобіля за режимами Європейського їздового циклу, а також зміни внесені до математичної моделі, які дозволяють врахувати особливості застосування комбінованого методу регулювання потужності та рециркуляції відпрацьованих газів сучасного бензинового двигуна.

Представлені розроблені алгоритми розрахунку на математичній моделі, які враховують моменти переключення з 6-ти циліндрів на 3-ти циліндри, і навпаки, для умов отримання найкращої паливної економічності чи умов отримання покращених екологічних показників.

Отримані результати розрахунку на математичній моделі руху транспортного засобу за режимами Європейського їздового циклу показали, що застосування комбінованого методу регулювання потужності та рециркуляції відпрацьованих газів дозволяє отримати покращення паливної економічності та екологічних показників автомобіля, обладнаного сучасним бензиновим двигуном.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ, РЕЦИКУЛЯЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ, ЇЗДОВИЙ ЦИКЛ

## ABSTRACT

Karev S.V. Evaluation of combined method of power control and exhaust gas recirculation on efficiency and environmental performance of cars equipped with modern gasoline engines. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2016. – Issue 1 (34).

This article presents the results of calculation on the mathematical model of a vehicle movement by the European driving cycle modes, and changes was made to the mathematical models which allow for the application features of combined method of power control and exhaust gas recirculation of modern gasoline engine.

Presented algorithms in the mathematical models, which take into account switching points from six cylinders to three cylinders, and vice versa, for get the best conditions for fuel efficiency or subject to enhanced environmental performance.

The results of calculation on the mathematical model of the vehicle by the European driving cycle showed that the use of the combined method of power control and exhaust gas recirculation allows you to improve fuel efficiency and environmental performance of vehicles equipped with a modern gasoline engine.

**KEY WORDS:** FUEL EFFICIENCY, ENVIRONMENTAL PERFORMANCE, COMBINED METHODS OF POWER CONTROL, EXHAUST GAS RECIRCULATION, DRIVING CYCLE

### **РЕФЕРАТ**

Карев С.В. Оценка влияния комбинированного метода регулирования мощности и рециркуляции отработавших газов на топливную экономичность и экологические показатели автомобиля, оборудованного современным бензиновым двигателем /С.В. Карев // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2016. – Вып. 1 (34).

В данной статье представлены результаты расчета на математической модели движения автомобиля за режимами Европейского ездового цикла, а также изменения, внесенные в математическую модель, которые позволяют учесть особенности применения комбинированного метода регулирования мощности и рециркуляции отработавших газов современного бензинового двигателя.

Представлены разработанные алгоритмы расчета на математической модели, которые учитывают моменты переключения с 6-ти цилиндров на 3-ти цилиндры, и наоборот, для условий получения наилучшего топливной экономичности или условия получения улучшенных экологических показателей.

Полученные результаты расчета на математической модели движения транспортного средства по режимам Европейского ездового цикла показали, что применение комбинированного метода регулирования мощности и рециркуляции отработавших газов позволяет получить улучшение топливной экономичности и экологических показателей автомобиля, оборудованного современным бензиновым двигателем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ТОПЛИВНАЯ ЭКОНОМИЧНОСТЬ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ, РЕЦИКУЛЯЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ, ЕЗДОВОМУ ЦИКЛУ

### **АВТОРИ:**

Карев Станіслав Володимирович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри “Двигуни і теплотехніка”, e-mail: [katedradvz.ntu@gmail.com](mailto:katedradvz.ntu@gmail.com), тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

### **AUTHOR:**

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

### **АВТОРЫ:**

Карев Станислав Владимирович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры "Двигатели и теплотехника", e-mail: [katedradvz.ntu@gmail.com](mailto:katedradvz.ntu@gmail.com), тел. +380442804716, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, к. 303а.

### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Назаренко І.І., доктор технічних наук, професор, КНУБА, завідувач кафедри машин і обладнання технологічних процесів, Київ, Україна

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

### **REVIEWER:**

Nazarenko I.I., Doctor of Technical Science, professor, KNUBA, professor, department of «Machinery and Equipment for Technological Processes», Kyiv, Ukraine

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