

УДК 621.43.052
UDC 621.43.052

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ЗА ЗОВНІШНЬОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ АВТОМОБІЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

Парсаданов І.В., доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна
Маклаков О.М., Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF EXHAUST GAS RECIRCULATION ON EXTERNAL CHARACTERISTIC OF AUTOMOBILE ENGINE

Parsadanov I.V., Doctor of Technical Sciences, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.
Maklakov O.M., National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ПО ВНЕШНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

Парсаданов И.В., доктор технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина
Маклаков А.Н., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

Постановка проблеми

Найбільші екологічні вимоги ставляться до автомобільних двигунів, так як вони експлуатуються в місцях скупчення людей: у містах, передмістях, на підприємствах, великих міжміських трасах. Введення нових норм на викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) для автомобільних двигунів потребує розробки нових та удосконалення вже відомих заходів для поліпшення їх екологічних якостей.

Одним з дієвих методів для екологізації двигунів внутрішнього згоряння є застосування рециркуляції ВГ. Система рециркуляції відпрацьованих газів EGR (Exhaust Gas Recirculation) призначена для зниження викидів найбільш токсичного компоненту ВГ оксидів азоту за рахунок повернення частини газів в циліндр двигуна. Зменшення кількості NO_x у ВГ при рециркуляції пов'язано із зниженням концентрації кисню в камері згоряння та температури в циліндрі, що обумовлене вищою теплоємністю інертних CO_2 і парів води, які безпосередньо не беруть участь в процесі згоряння [1]. При рециркуляції можливе і зменшення викидів твердих частинок (ТЧ).

Рециркуляція буває внутрішня і зовнішня. Внутрішня рециркуляція здійснюється при перекритті тактів впуску і випуску. Деяка кількість залишкових відпрацьованих газів, яка залежить від кута перекриття клапанів, повторно повертається в камеру згоряння разом зі свіжою робочою сумішшю. Зовнішня рециркуляція ВГ забезпечується поверненням частини ВГ через зворотний клапан з системи випуску двигуна у впускний тракт.

До недоліків рециркуляції відносять підвищення витрати палива, зменшення потужності двигуна на режимах максимального навантаження, підвищення кількості CO_2 у ВГ, забруднення впускних каналів та циліндрів [2]. Рециркуляцію застосовують, як правило, на часткових режимах, де концентрація оксидів азоту у ВГ незначна. В той же час для забезпечення нормованого рівня викиду оксидів азоту при використанні дизеля на автотранспорті має значення вплив ступеня рециркуляції при максимальній потужності в широкому діапазоні частот обертання колінчастого вала. При цьому важливо не збільшувати витрату палива і, бажано, зменшити викиди твердих частинок.

Виходячи з цього, актуальними є проведення досліджень з оцінки ефективності рециркуляції ВГ на режимах максимальних навантажень.

Метою даної роботи є визначення і оцінка екологічної ефективності впровадження рециркуляції за зовнішньою характеристикою автомобільного дизеля за умови забезпечення рівня питомої витрати палива не гірше за 1 % від вихідного рівня дизеля без рециркуляції.

Об'єкт і методика досліджень

Об'єктом дослідження вибрано рядний чотирьох циліндровий дизель 4ДТНА1 із безпосереднім впорскуванням палива і газотурбінним наддувом, робочим об'ємом 2,0 дм³, ступенем стиску 18,5 та номінальною потужністю 73,5 кВт при частоті обертання колінчастого вала 4200 хв⁻¹, який розроблено в ДП «ХКБД» для установки на автомобілі різного призначення.

Всі розрахунки виконані за допомогою програми ДИЗЕЛЬ-РК, яка зроблена в МВТУ ім. Н. Е. Баумана на кафедрі поршневих двигунів [3], і призначена для математичного моделювання і комп'ютерної оптимізації робочих процесів як чотиритактних дизелів з газотурбінним наддувом, так і інших дизелів. Розрахунок емісії оксидів азоту здійснювався за новітньою методикою, що використовує детальний кінетичний механізм (199 реакцій, 33 речовини), для визначення викидів NO в дизелях.

Оцінку ефективності впровадження рециркуляції на дизелі 4ДТНА1 проведено за результатами розрахункових досліджень за зовнішньою характеристикою при частотах обертання колінчастого вала $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$, $n = 2400 \text{ хв}^{-1}$, $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$, $n = 3600 \text{ хв}^{-1}$, $n = 4200 \text{ хв}^{-1}$. Вихідні дані параметрів наддуву, витрати палива і повітря брали з результатів стендових досліджень цього дизеля, які проведені у ДП «ХКБД». Ступінь рециркуляції ρ_p , яка визначається виразом $\rho_p = G_p / (G_p + G_B)$, де G_p – масова витрата рециркуляційних ВГ, G_B – масова витрата повітря, що надходить в циліндри, змінювалась в межах 0...0,15.

Результати досліджень

На рис. 1 показана зовнішня характеристика дизеля 4ДТНА1, яка визначена під час стендових випробувань дизеля.

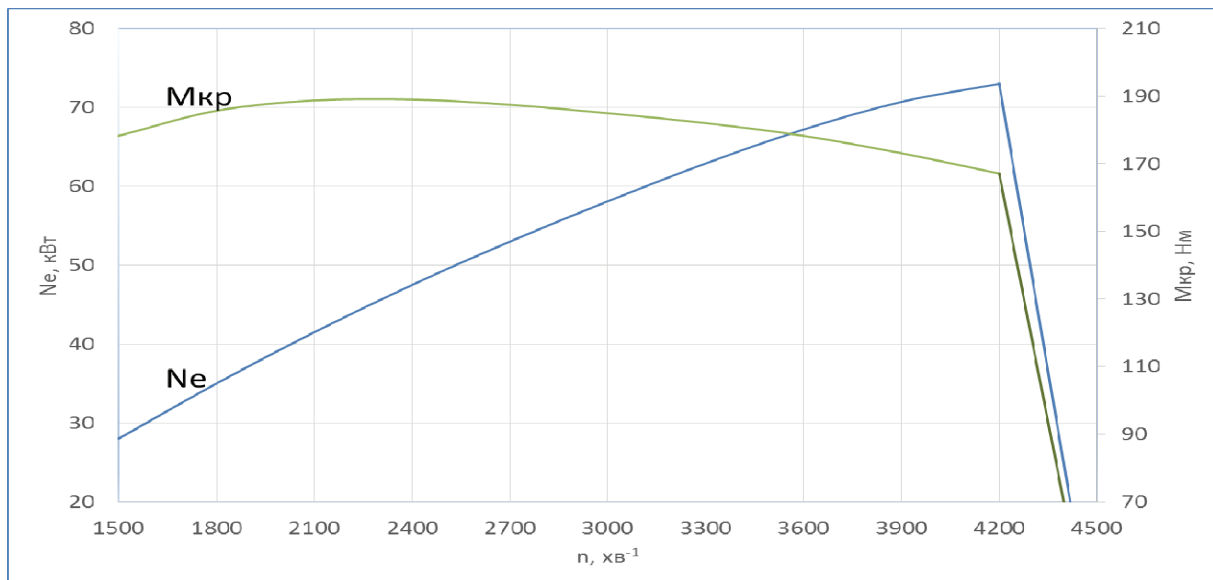


Рисунок 1 – Зовнішня характеристика дизеля 4ДТНА1

Залежності викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами, питомих викидів твердих частинок з відпрацьованими газами, питомої витрати палива дизеля 4ДТНА1 від ступеня рециркуляції, які були отримані в результаті проведених розрахункових досліджень з використанням програми ДИЗЕЛЬ-РК показані на графіках рис. 2, 3, 4.

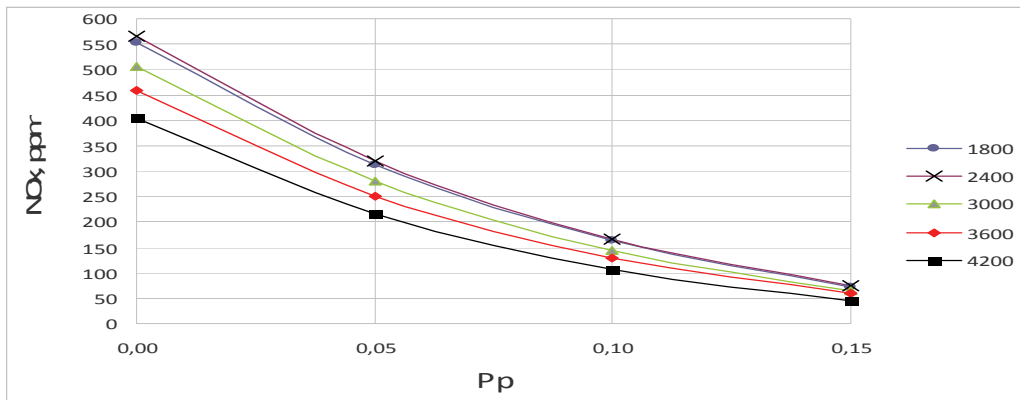


Рисунок 2 – Залежність викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами дизеля 4ДТНА1 від ступеня рециркуляції

З рис. 2 видно, що на зовнішній характеристиці автомобільного дизеля 4ДТНА1 при збільшенні ступеня рециркуляції до 0,15 відбувається суттєве зменшення викидів оксидів азоту.

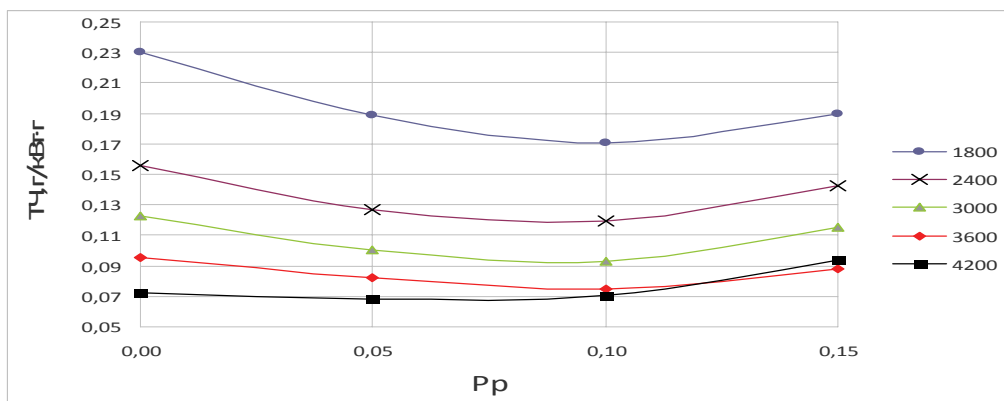


Рисунок 3 – Залежність питомих викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля 4ДТНА1 від ступеня рециркуляції

При рециркуляції відпрацьованих газів в межах ступеня рециркуляції 0,05...0,10 спостерігали деяке зменшення питомих викидів твердих частинок, а вже при ступені рециркуляції 0,15 питомі викиди ТЧ збільшуються (рис. 3). Найбільш суттєво цей ефект визначається на низьких частотах обертання колінчастого вала.

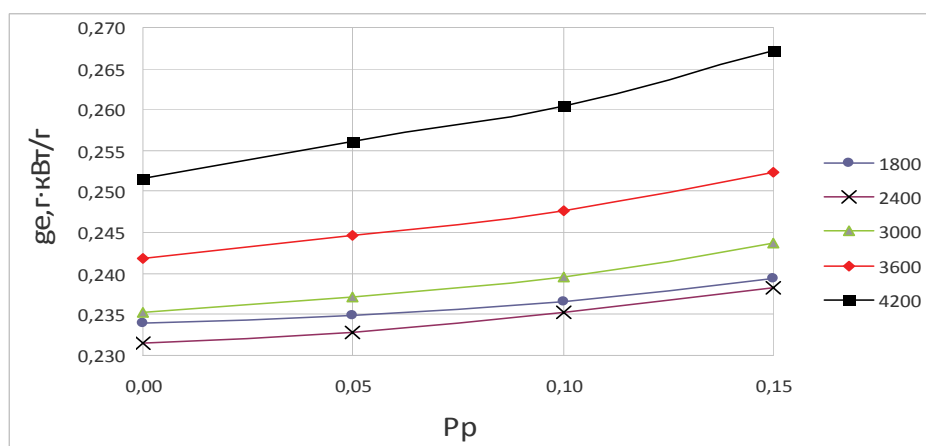


Рисунок 4 – Залежність питомої витрати палива дизеля 4ДТНА1 від ступеня рециркуляції

З рис. 4 видно, що при збільшенні рециркуляції питома ефективна витрата палива збільшується при більш високих значеннях частот обертання колінчастого вала менш інтенсивно, ніж при більших значеннях частоти обертання.

Отримані розрахункові дані і обробка результатів досліджень дають можливість визначити рівень рециркуляції для автомобільного дизеля 4ДТНА1 за зовнішньою характеристикою за умови забезпечення рівня питомої витрати палива не гірше за 1 % від вихідного рівня (без рециркуляції). Залежність, що визначає зниження показників витрати палива, викидів оксидів азоту, твердих частинок і раціонального значення ступеня рециркуляції у відсотках від частоти обертання колінчастого вала показано на рис. 5.

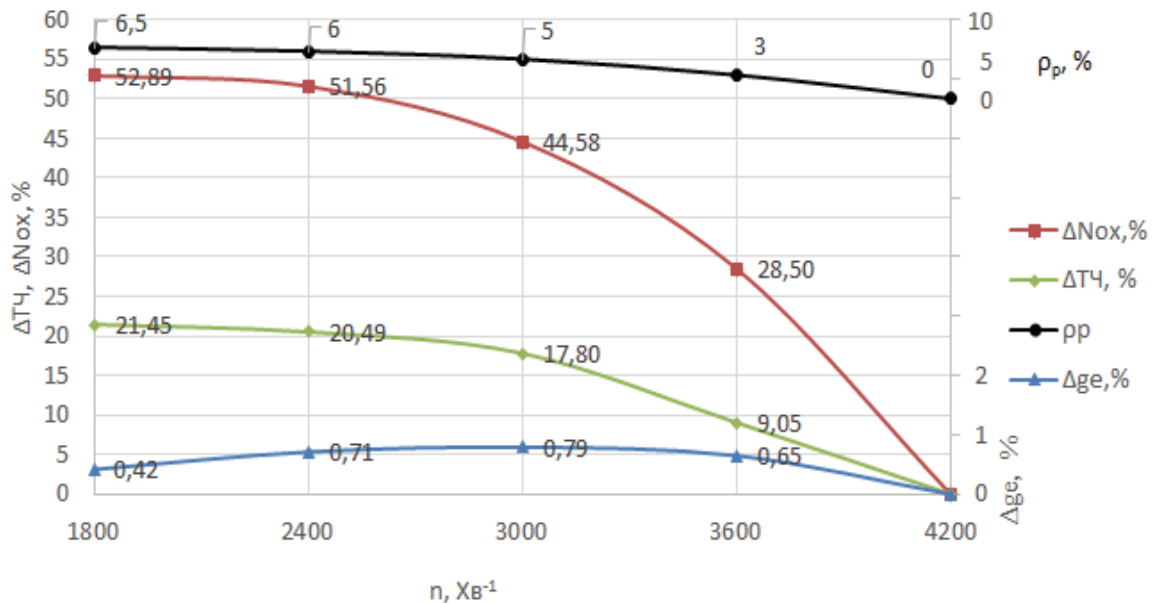


Рисунок 5 – Залежність паливо-економічних показників дизеля 4ДТНА1 і раціонального значення ступеня рециркуляції від частоти обертання колінчастого вала

Наведені на рис. 5 дані свідчать про те, що дизель 4ДТНА1 при його використанні з системою рециркуляції ВГ в режимі зовнішньої характеристики без суттєвого погіршення питомої витрати палива (в межах 0,42... 0,79 %) дозволяє позитивно впливати на викиди оксидів азоту і твердих частинок. Особливо значущим цей вплив є для відносно низьких частот обертання колінчастого вала.

Для частот обертання колінчастого вала $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$ і 2400 хв^{-1} при ступені рециркуляції відповідно 0,065 і 0,06 викиди NO_x зменшуються більше, ніж на 50 %, а ТЧ – більше, ніж на 20 %. Зростання питомої витрати палива відбувається в межах 0,4...0,7 %. Менш ефективна рециркуляція для частот обертання колінчастого вала 3000...3600 хв^{-1} . Щоб забезпечити зростання питомої витрати палива не більше, ніж на 0,8 % вибрані ступені рециркуляції 0,05 (для $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$) і 0,03 (для $n = 3600 \text{ хв}^{-1}$). В цьому разі зниження викидів NO_x складає відповідно 44 і 28 %, а ТЧ – 18 і 9 %. Для режиму номінальної потужності рециркуляцію проводити при забезпеченні зростання питомої витрати палива менше 1 % не раціонально.

Висновки

Проведені дослідження дозволили визначити рівень, дати оцінку і запропонувати алгоритм зміни ступеня рециркуляції для забезпечення екологічної ефективності впровадження рециркуляції на автомобільному дизелі 4ДТНА1 за зовнішньою характеристикою за умови забезпечення рівня питомої витрати палива не гірше за 1 % від вихідного рівня.

Найбільш ефективна рециркуляція ВГ за зовнішньою характеристикою при частотах обертання колінчастого вала близьких до максимального крутного моменту, де є можливість зменшити викиди оксидів азоту на 50 %, а твердих частинок – більше, ніж на 20 %.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А.П. Марченка та засл. діяча України проф. А.Ф. Шеховцова. – Харків, Прапор, 2004.– 466 с.
2. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немецкого. С40 Первое русское издание. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем» 2004. – 480с.
3. Кулешов А.С., Грехов Л.В. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания. – М.: МГТУ, 2000. – 64 с.

REFERENCES

1. Internal combustion engines: a series of textbooks in 6 volumes. T. 5. Greening ICE / Ed. prof. AP Marchenko and hon. Worker of Ukraine prof. AF Shekhovtsova. – Kharkov, Flag, 2004. – 466 p. (Ukr)
2. Management system diesel engines. Translated from the German. C40 first Russian edition. - Moscow: ZAO "KZHI" Driving "in 2004. – 480s. (Rus)
3. Kuleshov AS, LV Sin Mathematical modeling and computer-optimized fuel and work processes of internal combustion engines. – M. Bauman, 2000. – 64.(Rus)

РЕФЕРАТ

Парсаданов І.В. Оцінка ефективності рециркуляції відпрацьованих газів за зовнішньою характеристикою автомобільного дизеля / І.В. Парсаданов, О.М. Маклаков // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – Вип. 29.

Метою даної роботи є визначення і оцінка екологічної ефективності впровадження рециркуляції за зовнішньою характеристикою автомобільного дизеля за умови забезпечення рівня питомої витрати палива не гірше за 1 % від вихідного рівня.

Об'єктом дослідження вибрано рядний чотирьох циліндровий дизель 4ДТНА1 із безпосереднім впорскуванням палива і газотурбінним наддувом, робочим об'ємом 2,0 дм³, ступенем стиску 18,5 та номінальною потужністю 73,5 кВт при частоті обертання колінчастого вала 4200 хв⁻¹, який розроблено в ДП «ХКБД» для установки на автомобілі різного призначення.

Предмет дослідження – рівень екологізації дизеля при застосуванні рециркуляції відпрацьованих газів за зовнішньою характеристикою.

Актуальність роботи пов'язана із зменшенням негативного впливу відпрацьованих газів ДВЗ на навколишнє середовище без істотного збільшення витрати палива в експлуатації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ, РЕЦИРКУЛЯЦІЯ, ШКІДЛИВІ РЕЧОВИНИ.

ABSTRACT

Parsadanov I.V., Maklakov O.M. Estimation of efficiency of exhaust gas recirculation on external characteristic of automobile engine. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, 2014. – Issue 29.

The purpose of this work is to identify and estimate the environmental effectiveness of the proceedings of exhaust gas recirculation on external characteristics of diesel in case of providing specific fuel consumption not worse than 1% from baseline.

The object of the study is four cylinder in-line diesel engine 4DTNA1 with direct injection and turbocharger and 2.0 cubic decimeters working volume, compression ratio of 18.5 and a rated power of 73,5 kW with the crankshaft rotation 4200 min⁻¹. The engine was developed in SE "HKBD" to be installed on vehicles for various purposes.

Purpose of the study - the level of environment performance of diesel with exhaust gas recirculation system on external characteristics of this engine.

Relevance of the work associated with the reduction of the negative impact of exhaust gases of internal combustion engines on the environment without significantly increasing the fuel consumption.

Actuality of the work is related to reduction of negative influence of exhaust gases of ICE on an environment without the substantial increase of expenses in exploitation.

KEYWORDS: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, EXHAUST GASES, RECIRCULATION, HARMFUL SUBSTANCES.

РЕФЕРАТ

Парсаданов И.В. Оценка эффективности рециркуляции отработавших газов по внешней характеристике автомобильного дизеля / И.В. Парсаданов, А.М. Маклаков // Вестник Национального транспортного университета. Научно-технический сборник: в 2 ч. Ч. 1: Серия «Технические науки». – К. : НТУ, 2014. – Вып. 29.

Целью данной работы является определение и оценка экологической эффективности использования рециркуляции по внешней характеристике на автомобильном дизеле при условии обеспечения уровня удельного расхода топлива не хуже 1 % от исходного уровня.

Объектом исследования выбрано рядный четырех цилиндровый дизель 4ДТНА1 с непосредственным впрыском топлива и газотурбинным наддувом, рабочим объемом 2,0 дм³, степенью сжатия 18,5 и номинальной мощностью 73,5 кВт при частоте вращения коленчатого вала 4200 мин⁻¹, разработанный в ГП «ХКБД» для установки на автомобили различного назначения.

Предмет исследования - уровень экологизации дизеля при применении рециркуляции отработавших газов по внешней характеристике.

Актуальность работы связана с уменьшением негативного влияния отработанных газов ДВС на окружающую среду без существенного увеличения расхода топлива в эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ОТРАБОТАННЫЕ ГАЗЫ, РЕЦИРКУЛЯЦИЯ, ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА.

АВТОРИ:

Парсаданов Ігор Володимирович, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник кафедри двигунів внутрішнього згорання Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

Маклаков Олександр Миколайович, студент кафедри двигунів внутрішнього згорання, Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна, e-mail: maklman@mail.ru.

AUTHOR:

Parsadanov Igor V., Doctor of Technical Sciences, professor, chief scientific officer of the department of internal combustion engines National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Maklakov Olexandr M. student of the department of internal combustion engines National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail: maklman@mail.ru.

АВТОРЫ

Парсаданов Игорь Владимирович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: parsadanov@kpi.kharkov.ua.

Маклаков Александр Николаевич, студент кафедры двигателей внутреннего сгорания, Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина, e-mail: maklman@mail.ru.

РЕЦЕНЗЕНТИ

Фалендиш А.П. доктор технічних наук, професор, Українська державна академія залізничного транспорту, завідувач кафедри теплотехніка та теплових двигунів, Харків, Україна.

Сахно В.П. доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWER

Falendysh A.P. Doctor of Technical Sciences, professor, Ukrainian State Academy of Railway Transport, chief of department of heat engineering and heat engines, Kharkov, Ukraine.

Sahno V.P. Doctor of Technical Sciences, professor, National Technical University, chief of department of cars, Kyiv, Ukraine.