

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЯ

Визначена і дана оцінка паливної і екологічної ефективності провадження рециркуляції по зовнішній характеристиці автомобільному дизелю. Об'єктом дослідження обрано вітчизняний рядний чотирьох циліндровий автомобільний дизель із безпосереднім впорскуванням палива і газотурбінним наддувом, робочим об'ємом 2,0 дм³, номінальною потужністю 73,5 кВт. Актуальність роботи пов'язана із зменшенням негативного впливу відпрацьованих газів ДВЗ міського автомобільного транспорту на навколишнє середовище.

Постановка проблеми

Одним з дієвих методів екологізації двигунів внутрішнього згоряння є застосування рециркуляції відпрацьованих газів (ВГ). Рециркуляція ВГ призначена для зниження викидів найбільш токсичного компонента ВГ оксидів азоту за рахунок повернення частини газів в циліндр двигуна.

Найбільш розповсюдженню одержала зовнішня рециркуляція при якій забезпечується повернення частини ВГ через зворотний клапан з системи випуску двигуна у впускний тракт.

До основних недоліків рециркуляції відносять підвищення витрати палива і зменшення потужності двигуна на режимах максимального навантаження [1,2]. Цей недолік не має особливого значення для двигунів автомобільного транспорту, які практично не експлуатуються на режимах максимальної потужності [3], і викид шкідливих речовин яких оцінюються по їздовим циклам. В той же час при випробування автомобільного дизеля на стаціонарних режимах по циклу ESC відсутність рециркуляції при максимальній потужності в широкому діапазоні частот обертання валу суттєво впливає на визначений рівень оксидів азоту, так як на часткових режимах їх концентрація у ВГ відносно незначна.

Оцінка екологічної ефективності провадження рециркуляції по зовнішній характеристиці автомобільного дизеля при умові забезпечення як критерію рівня питомої витрати палива дизеля надана в роботі [4]. З приведених результатів досліджень слід, що за цих умов при відносно незначному ступені рециркуляції (до 7 %) при частотах обертання колінчатого валу близьких до максимального крутного моменту є можливість зменшити викиди оксидів азоту до 50 %, і водночас твердих частинок – до 20 %.

В той же час має інтерес оцінка екологічної ефективності провадження рециркуляції по зовнішній характеристиці автомобільного дизеля при умові забезпечення максимального рівня комплексного паливно-екологічного критерію.

Метою даної роботи є визначення оптимального значення ступеня рециркуляції відпрацьованих газів автомобільного дизеля по зовнішній характеристиці за допомогою комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів ДВЗ.

Об'єкт і методика досліджень

Об'єктом дослідження як і в роботі [4] обрано рядний чотирьох циліндровий дизель 4ДТНА1 із безпосереднім впорскуванням палива і газотурбінним наддувом, робочим об'ємом 2,0 дм³, ступеню стиску 18,5 та номінальною потужністю 73,5 кВт при частоті обертання колінчастого валу 4200 хв⁻¹. Цей дизель розроблений в ДП «ХКБД» і призначений для установки на автомобілях різного призначення.

Дослідження проведено розрахунковим методом за допомогою програми ДИЗЕЛЬ-РК, яка розроблена в МВТУ ім. Н. Е. Баумана на кафедрі поршневих двигунів [5], і призначена для математичного моделювання і комп'ютерної оптимізації робочих процесів чотиритактних дизелів з газотурбінним наддувом. Розрахунок емісії оксидів азоту здійснювався по методиці, що використовує детальний кінетичний механізм (199 реакцій, 33 речовини), для визначення викидів NO в дизелях.

Оцінку ефективності впровадження рециркуляції в дизелі за комплексним паливно-екологічним критерієм проведено за результатами розрахунків по зовнішній характеристиці при частотах обертання колінчатого валу $n = 1800, 2400, 3000, 3600$ та 4200 хв⁻¹. Вихідні дані параметрів газотурбінного наддуву, витрати палива і повітря бралися з результатів стендових досліджень дизеля 4ДТНА1, які проведені у ДП «ХКБД». Ступень рециркуляції ρ_p , який визначається виразом $\rho_p = G_p / (G_p + G_a)$, де G_p - масова витрата рециркуляційних ВГ, G_a - масова витрата повітря, що поступає в циліндри, змінювався межах 0...0,20.

Безрозмірний комплексний критерій паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів детально описаний в роботі [3]. Він визначається як:

$$K_{те} = \eta_{еpr.e} \cdot (1 - \beta),$$

де $\eta_{еpr.e}$ – середньо експлуатаційний ефективний ККД двигуна, β – коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних витрат.

Коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних витрат зумовлюються відношенням витрат на відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ двигуна (Z_e) до сумарних затрат на паливо і відшкодування екологічного збитку ($Z_{те}$).

$$\beta = Z_e / Z_{те},$$

де $Z_{те} = Z_T + Z_e$, а Z_T витрати на паливо при роботі двигуна.

Визначення відносних експлуатаційних екологічних витрат проводилося з урахуванням масового викиду токсичних компонентів, їх агресивності і нанесеної шкоди. При визначенні відносних екологічних витрат в даному дослідженні виходили з того, що основними шкідливими компонентами ВГ дизелів є оксиди азоту і тверді частинки, доля агресивного впливу яких на навколишнє середовище складає понад 95 % [3].

Агресивність ШР визначалася в залежності від величини гранично допустимої за санітарними нормами концентрації шкідливої речовини в атмосферному повітрі. При визначенні екологічного збитку враховуються кліматичні умови і особливості

експлуатації автомобіля.

Відомо, що найбільший екологічний збиток наносять двигуни, які експлуатуються в містах, на великих промислових підприємствах, у зонах відпочинку. Для цих двигунів, показник, що враховує особливості експлуатації може мати значення від 1 до 8. Аналіз співвідношення витрат на відшкодування екологічного збитку в експлуатації до витрати палива для двигунів міських автобусів, комунального автотранспорту та спеціального призначення дозволив запропонувати показник, що враховує особливості експлуатації $\sigma = 3$ [6]. При даному значенні σ витрати на відшкодування збитків від шкідливої дії ОГ наблизяться до витрат на паливо в тому випадку, якщо двигуни відповідають нормам ЄВРО-5.

Комплексний критерій має максимальне значення, рівне середньому експлуатаційному ефективному ККД за умови відсутності експлуатаційних екологічних витрат, тобто в тому випадку, коли у відпрацьованих газах двигуна, що у надходять до доквілля, будуть повністю відсутні токсичні компоненти. З збільшення частки екологічних витрат, тобто з погіршенням екологічних характеристик двигуна, величина комплексного критерію буде знижуватися.

Таблиця. Результати розрахунку комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизеля 4ДТНА1 по зовнішній характеристиці при різному ступеню рециркуляції ВГ

P_p	$n, \text{хв}^{-1}$	$N_e, \text{кВт}$	$G_T, \text{кг/год}$	$G_{NOx}, \text{кг/год}$	$G_{Tч}, \text{кг/год}$	Z_T	Z_e	$Z_{те}$	β	$K_{те}$
0	1800	35,60	8,33	0,20100	0,0082	2,80	3,33	6,13	0,543	0,165
	2400	47,46	10,99	0,2788	0,0074	2,77	3,26	6,04	0,541	0,167
	3000	58,43	13,74	0,3202	0,0072	2,82	2,99	5,81	0,515	0,174
	3600	68,15	16,49	0,3565	0,0065	2,90	2,80	5,70	0,492	0,177
	4200	72,32	18,19	0,3542	0,0052	3,01	2,58	5,59	0,462	0,180
0,05	1800	32,73	7,69	0,1054	0,0062	2,81	2,04	4,85	0,420	0,208
	2400	43,52	10,13	0,1457	0,0055	2,79	1,95	4,74	0,411	0,213
	3000	53,33	12,64	0,1633	0,0054	2,84	1,75	4,59	0,381	0,220
	3600	62,01	15,17	0,1795	0,0051	2,93	1,62	4,55	0,356	0,222
	4200	65,36	16,74	0,1733	0,0045	3,07	1,47	4,54	0,324	0,223
0,10	1800	29,97	7,09	0,0505	0,0051	2,83	1,24	4,07	0,304	0,248
	2400	39,71	9,34	0,0692	0,0047	2,82	1,14	3,96	0,289	0,255
	3000	48,71	11,67	0,0772	0,0045	2,87	1,00	3,87	0,259	0,261
	3600	56,70	14,05	0,0846	0,0043	2,97	0,91	3,88	0,235	0,260
	4200	59,62	15,53	0,0798	0,0042	3,12	0,83	3,95	0,210	0,256
0,15	1800	27,20	6,51	0,0208	0,0052	2,87	0,83	3,70	0,225	0,273
	2400	35,95	8,57	0,0285	0,0051	2,85	0,73	3,58	0,204	0,282
	3000	43,85	10,69	0,0312	0,0051	2,92	0,63	3,55	0,177	0,285
	3600	51,20	12,92	0,0355	0,0045	3,02	0,55	3,57	0,154	0,283
	4200	53,51	14,29	0,0315	0,0050	3,20	0,51	3,71	0,139	0,272
0,20	1800	24,52	5,96	0,0077	0,0055	2,89	0,69	3,58	0,193	0,282
	2400	32,56	7,87	0,0114	0,0057	2,88	0,59	3,47	0,170	0,292
	3000	39,59	9,81	0,0124	0,0059	2,92	0,51	3,43	0,149	0,288
	3600	45,63	11,80	0,0130	0,0056	3,08	0,43	3,51	0,123	0,288
	4200	48,11	13,17	0,0127	0,0060	3,25	0,43	3,68	0,117	0,275

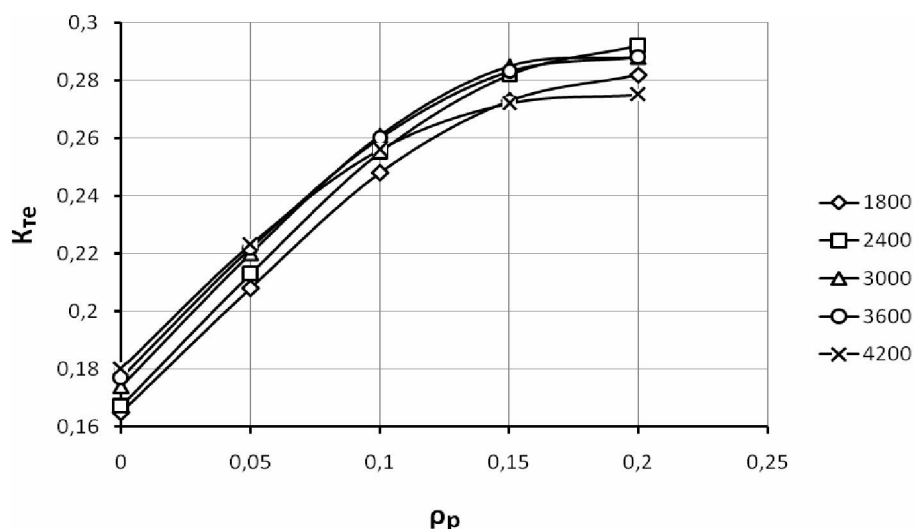


Рис. 1. Залежності комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизеля 4ДТНА1 від ступеню рециркуляції ВГ при різних частотах обертання колінчатого валу по зовнішній характеристиці

Використання комплексного критерію або при необхідності коефіцієнта відносних експлуатаційних екологічних витрат дозволяє проводити аналіз компромісної ситуації, коли вимагається прийняття рішення про допустиме зростання витрат на паливо за умови зменшення загального рівня паливно-екологічних витрат, наприклад, при застосуванні системи рециркуляції ВГ.

Результати досліджень

В таблиці і на рис. 1 наведені результати розрахунків комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів по зовнішній характеристиці для дизеля 4ДТНА1 при різному ступеню рециркуляції ВГ.

З наведених в таблиці і на рис.1 даних слід, що комплексний критерій паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизеля автомобільного дизеля зростає до значень ступеню рециркуляції ВГ 0,15...0,20 при частотах обертання колінчатого валу по зовнішній характеристиці. Зростання комплексного критерію забезпечується за рахунок зменшення витрат на відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ двигуна. При ступені рециркуляції $\rho_p = 0,20$ витрати на відшкодування екологічного збитку зменшуються у 4,8...6 разів в порівнянні з відсутністю рециркуляції. Водночас зростають витрати на паливо, але тільки в 1,03...1,08 рази. В підсумку комплексний критерій паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизеля автомобільного дизеля зростає до 1,53...1,7. Виходячи з характеру перебігу кривої критерію із збільшенням ступеню рециркуляції ВГ

понад 0,20 ефективність рециркуляції на зовнішній характеристиці буде зменшуватися як за рахунок збільшення витрат на паливо, так і зменшення позитивного впливу на токсичність відпрацьованих газів.

Наведені дані свідчать про те, що рециркуляцію ВГ доцільно впроваджувати на зовнішній характеристиці, особливо для автомобільних дизелів, які призначені для міського транспорту і в місцях, де є велике скупчення людей.

Висновки

Проведені дослідження дозволили визначити рівень і дати оцінку зміни ступеню рециркуляції для забезпечення паливно-екологічної ефективності провадження рециркуляції на автомобільному дизелі 4ДТНА1 по зовнішній характеристиці.

Для забезпечення суттєвого у 4,8 ...6 разів зниження екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ автомобільних дизелів, що експлуатуються у великих містах доцільно впроваджувати рециркуляцію ВГ на зовнішній характеристиці до значень ступеню рециркуляції 0,15...0,20. Витрата палива на режимах зовнішньої характеристики дизеля при цьому може зрости на 3...8 %.

Список літератури:

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. Парсаданов И. В. Повышение качества и конку-

рентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия: Монография / И.В. Парсаданов. – Харьков: Издательский центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с. 4. Парсаданов И.В. Оцінка ефективності рециркуляції відпрацьованих газів за зовнішньою характеристикою автомобільного дизеля / І.В. Парсаданов, О.М. Маклаков // Вісник національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2014. – Вип. 29. – С. 302-307. 5. Кулешиов А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания / А.С. Кулешиов, Л.В. Грехов. – М.: МГТУ, 2000. – 64 с. 6. Парсаданов И. В., Кричковская Л. В., Грицаенко И. В. Комплексная оценка экономико-экологических затрат при эксплуатации ДВС на разных территориях // Сборник научных статей XIV Международной научно-практической конференции. Том 1. – 2006. – С. 140 – 143.

Bibliography (transliterated):

1. Dviguni vnutrishn'ogo zgorjannija: Serija pidruchnikov u 6 tomah. T. 5. Ekologizacija DVZ / Za red. prof. A.P. Marchenka ta zasl. dijacha Ukraïni prof. A.F. Shehovcova. – Harkiv, Prapor, 2004.- 466 s. 2. Sistemi upravlenija dizel'nymi dvigateljami. Perevod s nemeckogo. S40 Pervoe russkoe izdanie. – M.:ZAO «KZhI «Za rulem» 2004. – 480s. 3. Parsadanov I. V. Povyshenie kachestva i konkurentosposobnosti dizelej na osnove kompleksnogo toplivno-jekologicheskogo kriterija: Monografija / I.V. Parsadanov. – Har'kov: Izdatel'skij centr NTU «HPI», 2003. – 244 s. 4. Parsadnov I.V. Ocinka effektivnosti recirkuljacii vidprac'ovanih gaziv za zovnishn'uju harakteristikoju avtomobil'nogo dizelja / I.V. Parsadnov, O.M. Maklakov // Visnik nacional'nogo transportnogo universitetu. – K.: NTU, 2014. – Vip. 29. – S. 302-307. 5. Kuleshov A.S. Matematicheskoe modelirovanie i komp'juternaja optimizacija toplivopodachi i rabochih processov dvigatelej vnutrennego sgoranija / A.S. Kuleshov, L.V. Grehov. – M.: MGTU, 2000. – 64 s. 6. Parsadanov I. V., Krichkovskaja L. V., Gricaenko I. V. Kompleksnaja ocenka jekonomiko-jekologicheskikh zatrat pri jekspluatacii DVS na raznyh territorijah // Sbornik nauchnyh statej XIV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoi konferencii. Tom 1. – 2006. – S. 140 – 143.

Поступила в редакцию 28.07.2014

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

Рыкова Инна Витальевна – канд. техн. наук, ст.н.с., старший научный сотрудник кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», rykova@kpi.kharkov.ua.

Маклаков Александр Николаевич – студент кафедры двигателей внутреннего сгорания Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЯ

И.В. Парсаданов, И.В. Рыкова, А.Н. Маклаков

Рециркуляция применяется для снижения выбросов в атмосферу одного из наиболее токсичных компонентов отработавших газов дизелей оксидов азота. В зависимости от степени рециркуляции отмечается уменьшение выбросов твердых частиц, увеличение расхода топлива и снижение мощности дизеля. Для оценки эффективности рециркуляции необходима комплексная оценка показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов. В проведенных исследованиях рассмотрена возможность комплексной оценки показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов в зависимости от степени рециркуляции отработавших газов в автомобильном дизеле.

COMPLEX ESTIMATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE EXHAUST GAS RECIRCULATION IN DIESEL I.V.

I. V. Parsadanov, I. V. Rykova, A. N. Maklakov

The aim of recirculation is to reduce the emissions of one of the most toxic components of diesels exhaust gases - oxides of nitrogen. Depending on the degree of recycling the decrease in particulate emissions is marked. Also, increase in fuel consumption and decrease in performance of diesels are also exist. To assess the effectiveness of recycling complex estimation of the fuel economy and emissions is required. In the studies the possibility of complex estimation of the fuel economy and exhaust emissions, depending on degree of the exhaust gas recirculation in automotive diesels is considered.