

НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЯ

Кухарьонюк Г.М., доктор технічних наук, Білоруський національний технічний університет, Мінськ, Республіка Білорусь, kux@tut.by, orcid.org/0000-0001-8731-3373

Березун В.И., кандидат технічних наук, Белорусский национальный технический университет, Мінськ, Республіка Білорусь, vitaliy.berezun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4972-3499

DIRECTIONS ENSURE THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF DIESEL

Kukharonak H.M., Doctor of Technical Science, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, kux@tut.by, orcid.org/0000-0001-8731-3373

Berazun V.I., Ph.D. of Technical Science, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, vitaliy.berezun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4972-3499

НАПРАВЛЕНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ

Кухарёнок Г.М., доктор технических наук, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, kux@tut.by, orcid.org/0000-0001-8731-3373

Березун В.И., кандидат технических наук, Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь, vitaliy.berezun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4972-3499

Вступление. Дизели, применяемые на автомобильном транспорте, внедорожной технике и в качестве энергетических установок являются одним из основных источников загрязнения окружающей среды. В связи с этим во всем мире на законодательном уровне ограничивают выбросы вредных компонентов отработавших газов (ОГ): *CO*, *THC*, *NO_x*, и *PM* [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7], которые для транспортных средств и внедорожной техники ограничиваются Правилами ЕЭК ООН №№ 24, 49 и 96. Ввиду особенности эксплуатации транспортных средств, циклы испытаний и нормы выбросов в ОГ дизелей для автомобильной и внедорожной техники различны. Отечественными и иностранными предприятиями постоянно проводятся работы по поиску технических решений, позволяющих повысить технический уровень выпускаемой продукции с учетом технологических возможностей и целевых параметров [1, 2, 3, 6, 8]. С учетом того, что достижение современных экологических норм, помимо рассмотрения средств совершенствования рабочего процесса (РП), необратимо связано с использованием систем очистки ОГ, выделяют три основных направления снижения выбросов вредных веществ (ВВВ):

- доводка РП в сторону снижения выбросов *NO_x*, а возрастающие при этом выбросы *PM* снижают за счет применения технологии сажевых фильтров (СФ);
- доводка РП в сторону снижения выбросов *PM*, а возрастающие при этом выбросы *NO_x* снижают за счет применением технологии селективно-каталитического восстановления (СКВ);
- комбинированный.

Ведущие производители, ограниченные временем вступления промежуточных стадий экологических норм и рассматривая РП дизеля, как основной источник снижения ВВВ, исследовали новейшие технологии топливоподачи с давлением впрыска выше 200 МПа и высокопроизводительные системы наддува. Однако, начиная с норм ЕВРО-4 и Stage 3В обеспечить экологические выбросы только за счет совершенствования РП становится проблематично, поэтому мировые производители на дизелях высокого технического уровня активно внедряют системы очистки ОГ [9, 10]. С учетом развития технологий очистки постановка задачи модифицировалась в сторону нахождения компромисса между сложностью, как следствие удорожанием конструктивных элементов дизеля, и совершенствованием технологии очистки. С другой стороны, применение систем очистки ОГ с большой эффективностью позволяет получить высокие экологические показатели на дизелях более низкого технического уровня, отличающихся простотой конструкцией, с относительно высокими «сырыми» ВВВ. Как правило, спрос на такую продукцию возникает у потребителей внедорожной техники, значительно удаленных от сервисных центров и вынужденных самостоятельно обслуживать технику в полевых условиях. Недостатком такого решения является более высокий расход топлива и дорогая система нейтрализации ОГ с высоким уровнем вложений

драгоценных металлов, необходимых для обеспечения компенсации ухудшения показателей, ввиду ускоренного снижения эффективности системы при работе с высокой степенью конверсии.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является анализ направления обеспечения экологических показателей дизеля с учетом топливно-экономических показателей.

Основными задачами работы являются:

– оценка способов улучшения экологических показателей дизеля с учетом весовых факторов цикла токсичности, температуры отработавших газов после турбокомпрессора, приоритета топливной экономичности при росте нагрузки, а также необходимой для достижения целевой ступени экологической безопасности степени конверсии системы очистки отработавших газов;

– выбор регулировочных параметров рабочего процесса и комплектации системы очистки ОГ для выполнения экологических требований Stage 4.

– проведение экспериментальных исследований дизеля на режимах цикла токсичности NRSC.

Основной материал.

Разработана математическая модель рабочего процесса, основанная на первом законе термодинамики, включающая решения, позволяющие проводить расчетные исследования на стадии проектирования дизеля с учетом параметров системы рециркуляции отработавших газов, выбросов NO_x и PM и температуры газов после турбокомпрессора T_r' [8, 11].

Проведено моделирование РП для каждого режима цикла токсичности NRSC – Non-Road Steady Cycle дизеля 4ЧН11/12,5.

По результатам исследования выбраны граничные условия варьирования параметров топливоподачи и степени рециркуляции отработавших газов РОГ при исследовании ВВВ. Для каждой точки цикла NRSC, в областях полученных значений проведены расчеты итоговых результатов моделирования за цикл токсичности с учетом весовых факторов и приоритета минимизации g_e с ростом нагрузки (рисунок 1), для оценки которых выделены следующие показатели:

δg_e – увеличение расхода топлива по отношению к базовому циклу, определенному при регулировочных параметрах управления рабочими процессами, обеспечивающих минимизацию g_e на всех режимах цикла токсичности, %;

$(\Delta T_r')_{cp}$ – увеличение средней за цикл токсичности температуры ОГ после ТКР по отношению к базовому циклу;

K_{PM}, K_{NO_x} – необходимая степень конверсии системы очистки по PM и NO_x для достижения норм Stage 4, определяемая как отношение разности между значениями «сырых» и нормируемых PM и NO_x к значению «сырых» выбросов.

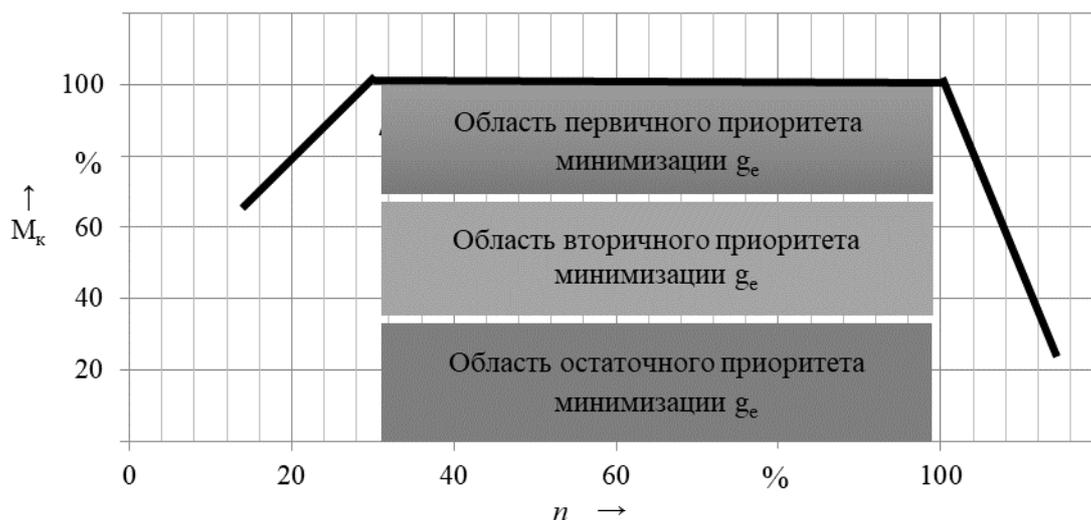


Рисунок 1 – Приоритетность минимизации g_e в частотно-нагрузочном диапазоне работы дизеля
Figure 1 – The priority of the minimization g_e in speed-load range diesel

Проведена оценка пяти способов улучшения экологических показателей дизеля с учетом весовых факторов цикла токсичности, приоритета эффективности сгорания при росте нагрузки, наличия РОГ и комплектации системы очистки ОГ (таблица 1).

На первом этапе расчета для составления базового цикла токсичности на каждом режиме были выбраны настройки рабочих процессов, обеспечивающие минимизацию g_e . Итоговые показатели по выбросам NO_x и PM составили 8,1 и 0,031 г/кВт·ч соответственно. При этом средняя по циклу токсичности температура отработавших газов после ТКР составила 374 °С.

Таблица 1 – Результаты исследования
Table 1 – Research result

Этап расчета	NO_x , г/кВт·ч	PM , г/кВт·ч	δg_e , %	$(\Delta T_r)_{cp}$	K_{PM}	K_{NO_x}	РОГ
1	8,1	0,031	–	–	0,20	0,95	+
2	5,1	0,089	10,9	54	0,70	0,92	+
3	13,1	0,014	2,4	4	–	0,97	–
4	7,7	0,025	2,4	4	–	0,95	+
5	2,5	0,265	12,0	81	0,91	0,83	+

На втором и третьем этапах было реализовано направление минимизации PM с применением РОГ и при ее отсутствии. В результате для комплектации без РОГ был получен цикл с выбросами NO_x и PM , равными 13,1 и 0,014 г/кВт·ч соответственно, что позволяет выполнить требования норм Stage 4 по PM без применения систем очистки отработавших газов. При этом $\delta g_e = 2,4$ %, $(\Delta T_r)_{cp} = 4^\circ$. Для комплектации с РОГ выбросы NO_x и PM составили 5,1 и 0,089 г/кВт·ч соответственно, при этом δg_e составило 10,9 % при $(\Delta T_r)_{cp} = 54^\circ$.

На четвертом этапе расчета рассматривался подход достижения норм по PM в пределах Stage 4 с возможностью снижения NO_x при использовании системы РОГ. Значение PM за цикл 0,025 г/кВт·ч удалось добиться с выбросами $NO_x = 7,7$ г/кВт·ч при росте температуры на 4° и $\delta g_e = 2,4$ %.

На пятом этапе расчета было реализовано направление минимизации NO_x . Полученный цикл обеспечивает выбросы NO_x и PM , равные 2,5 и 0,265 г/кВт·ч соответственно, при $\delta g_e = 12$ % и $(\Delta T_r)_{cp} = 81^\circ$.

По итогам расчетов построена графическая зависимость для оценки способов улучшения экологических показателей дизеля (рисунок 2).

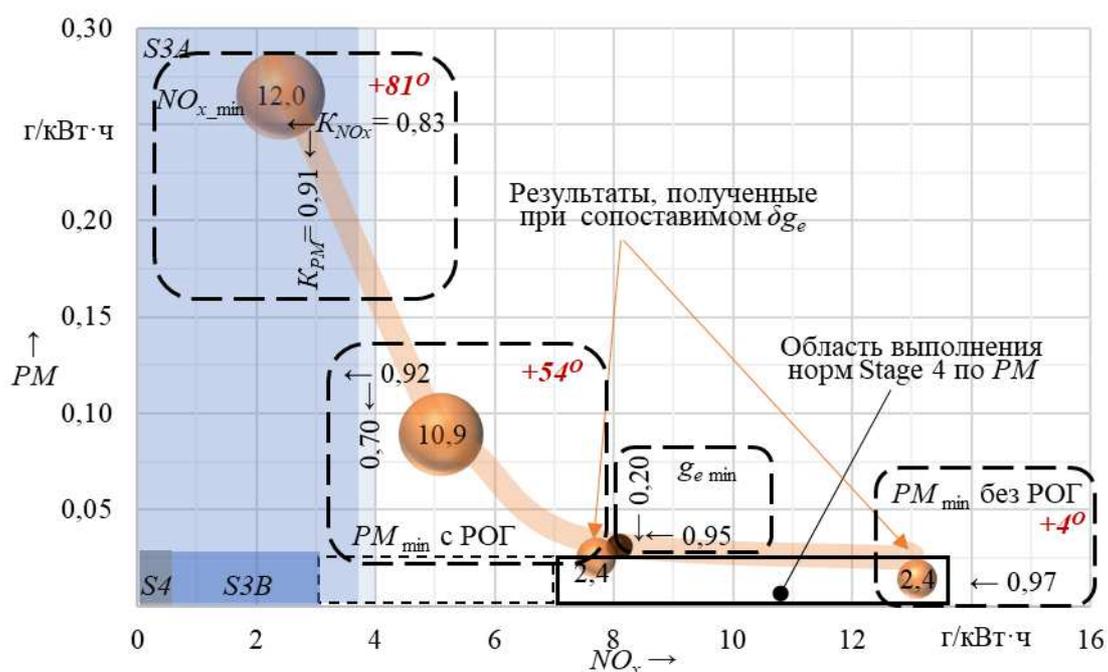


Рисунок 2 – Способы улучшения экологических показателей дизеля до уровня Stage 4

Figure 2 – Ways to improve diesel emissions up to Stage 4

Полученные результаты свидетельствуют о том, что достичь уровня Stage 4 по выбросам NO_x и PM возможно при различном сочетании настроек управления РП и степени сложности применяемой системы очистки. Выбор направления снижения ВВВ осуществлялся с учетом топливной экономичности и сокращения элементов конструкции дизеля.

Направление достижения выбросов PM за счет совершенствования РП, позволяет получить более высокие топливно-экономические показатели, но требует усложнения системы очистки ОГ ($K_{NO_x} = 0,97$). Использование системы РОГ позволяет применять системы очистки ОГ по снижению NO_x средней эффективности, но уже в комплектации с сажевой ступенью. Настройкой РП достичь «сырого» выброса NO_x ниже 2,5 г/кВт·ч при сохранении высокой эффективности использования топлива не представляется возможным, к тому же это направление сопровождается ростом температуры ОГ и резким увеличением выбросов PM , что усложняет конструкцию системы очистки дизеля.

Наибольшая эффективность по топливной экономичности обеспечивается на базовом цикле токсичности с выбросами NO_x и PM , равными 8,1 и 0,031 г/кВт·ч, соответственно, при средней температуре ОГ после ТКР по циклу токсичности 374 °С. Для выполнения требований экологической безопасности Stage 4 степень конверсии комплексной системы очистки ОГ должна составлять соответственно $K_{NO_x} = 0,95$ и $K_{PM} = 0,20$.

Направление организации РП для минимизации NO_x с глубокой РОГ, целесообразно только для выполнения норм экологического уровня Stage 4 для дизеля с механической системой топливоподачи. При рассмотрении финальных стадий эмиссионного законодательства реализация рассматриваемого подхода сопровождается значительным ростом расхода топлива при необходимости применения сложной комплексной системы очистки ОГ.

Наибольшей привлекательностью обладают подходы, находящиеся в области выполнения норм Stage 4 по PM (см. таблицу 1, этапы 3 и 4), при которых δg_e не превышает 2,4 %

Для проверки результатов расчета разработана экспериментальная установка, состоящая из системы управления и активного контроля параметров топливоподачи объекта исследования, систем управления топливоподачей и режимами нагружения дизеля, комплекса индицирования, систем измерения параметров работы дизеля и состава отработавших газов, и проведены испытания дизеля по циклам NRSC при выбранных параметрах системы топливоподачи и степени РОГ (таблица 2).

Таблица 2 – Выбранные регулировочные параметры
Table 2 – Selected adjustment parameters

Режим	Способ минимизации PM в комплектации дизеля без РОГ			Способ минимизации PM в комплектации дизеля с РОГ		
	$p_{впр}$	θ	ρ_p	$p_{впр}$	θ	ρ_p
	МПа	град ПКВ	–	МПа	град ПКВ	–
Н-100	160	10	0	160	10	0,10
Н-75	140	12	0	145	12	0,12
Н-50	115	12	0	125	12	0,14
Н-10	100	8,5	0	100	9	0,20
ПР-100	127	10	0	130	10	0,03
ПР-75	98	10	0	100	10	0,05
ПР-50	85	10	0	90	10	0,08

Отклонения результатов расчета и экспериментальных значений NO_x и PM приведены на рисунках 3 и 4 для комплектации дизеля без РОГ и с РОГ соответственно.

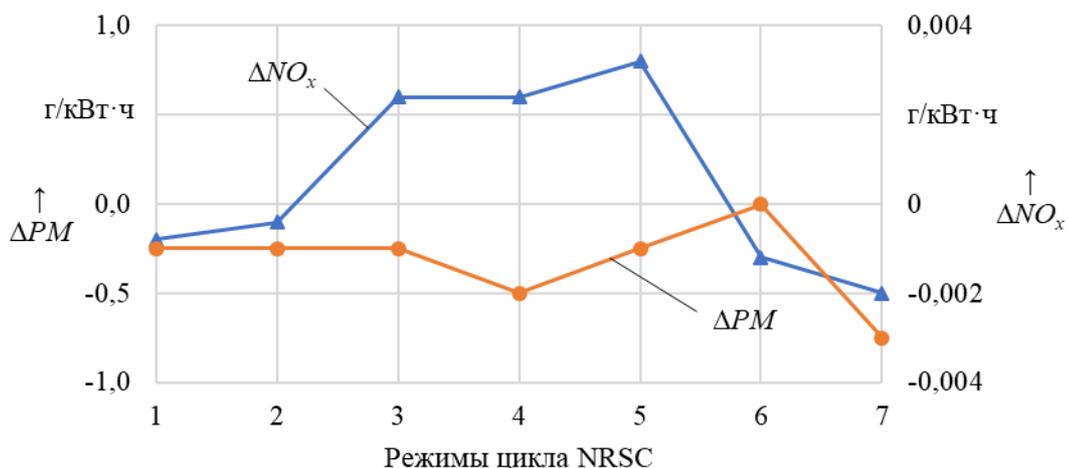


Рисунок 3 – Отклонение расчетных данных от экспериментальных по выбросам PM и NO_x для комплектации дизеля без РОГ

Figure 3 – Deviation of the calculated data and the experimental emissions PM and NO_x for the diesel without EGR

Отклонение расчетных значений от экспериментальных для комплектации дизеля без РОГ по итоговому циклу токсичности составило 0,5 % для NO_x и 3,8 % для PM . Отклонение расчетных значений от экспериментальных для комплектации дизеля с РОГ по итоговому циклу токсичности составило 2,1 % для NO_x и 2,8 % для PM .

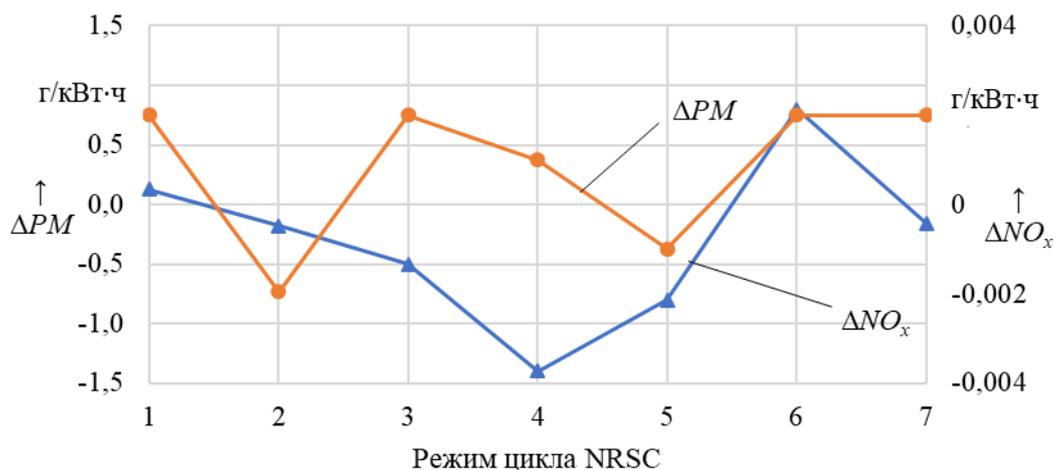


Рисунок 4 – Отклонение расчетных данных от экспериментальных по выбросам PM и NO_x для комплектации дизеля с РОГ

Figure 4 – Deviation of the calculated data and the experimental emissions PM and NO_x for the diesel with EGR

После доводочных работ системы очистки на дизеле Д-245.2S4 с выбранными настройками системы топливоподачи ввиду получения запаса по выбросам NO_x в качестве приоритетного направления был выбран подход минимизации PM в комплектации дизеля без РОГ, что позволило выполнить экологические требования Stage 4 при высокой топливной экономичности.

Выводы.

1. Рассмотрены пять способов улучшения экологических показателей дизеля с учетом весовых факторов цикла токсичности, приоритета расхода топлива при росте нагрузки и комплектации, а также построена диаграмма зависимости PM от NO_x итогового цикла токсичности, позволяющая осуществлять выбор направлений снижения ВВВ с учетом необходимой для достижения норм Stage 4 степени конверсии системы очистки ОГ, изменения средней температуры ОГ цикла токсичности и топливной экономичности.

2. Определены параметры топливоподачи и степени РОГ, позволяющие обеспечить выполнение норм Stage 4 по PM без применения сажевого фильтра при комплектации дизеля без РОГ со степенью конверсии $K_{NO_x} = 0,97$ и $K_{NO_x} = 0,95$ при комплектации с РОГ, при этом рост расхода топлива относительно базового цикла токсичности не превышает 2,4 %.

ССЫЛКИ НА ЛИТЕРАТУРУ

1. Марков, В. А. Токсичность отработавших газов дизелей / В. А. Марков, Р. М. Баширов, И. И. Габитов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 376 с.
2. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М. : Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
3. Basshuysen, R. Handbuch Verbrennungsmotor. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven. Auflage / R. Basshuysen, F. Schäfer. – Wiesbaden : Vieweg & Sohn Verlag, 2007. – 1032 s.
4. Аксенов, И. Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И. Я. Аксенов, В. И. Аксенов. М. : Транспорт, 1986. – 176 с.
5. Экология автомобильных двигателей внутреннего сгорания / В. А. Звонов [и др.]. – Луганск: ВНУ им. В. Даля, 2004. – 268 с.
6. Парсаданов, И. В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе топливно-экологического критерия / И. В. Парсаданов. – Харьков : Изд. центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
7. Кульчицкий, А. Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей / А. Р. Кульчицкий. – Владимир : Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2000. – 256 с.
8. Кухаренко, Г. М. Снижение выбросов вредных веществ дизельных двигателей / Г. М. Кухаренко, А. Н. Петрученко, В. И. Березун. – Москва : Новое знание, 2014. – 220 с.
9. О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним ТР ТС 031/2012 : принят 20.07.2012 : вступ. в силу 19.08.2012 / Евраз. экон. комис. – Минск : Экономэнерго, 2012. – 60 с.
10. Heck, R. Catalytic Air Pollution Control / R. Heck, R. Farrauto, S. Galati. – NEW York, John Wiley & Sons, 2002. – 391 p.
11. Кухаренко, Г. М. Совершенствование рабочего процесса дизельных двигателей / Г. М. Кухаренко, В. И. Березун // Изобретатель. – 2018. – № 1 (217). – С. 37–40.

REFERENCES

1. Markov, V. A. Toksichnost otrabotavshikh gazov dizeley / V. A. Markov, R. M. Bashirov, I. I. Gabitov. – M. : Izd-vo MGTU im. N. E. Bauman. 2002. – 376 s.
2. Grekhov, L. V. Toplivnaya apparatura i sistemy upravleniya dizeley: Uchebnik dlya vuzov / L. V. Grekhov, N. A. Ivashchenko, V. A. Markov. – M. : Legion-Avtodata. 2004. – 344 s.
3. Basshuysen, R. Handbuch Verbrennungsmotor. Grundlagen, Komponenten, Systeme, Perspektiven. Auflage / R. Basshuysen, F. Schäfer. – Wiesbaden : Vieweg & Sohn Verlag, 2007. – 1032 s.
4. Aksenov, I. Ya. Transport i okhrana okruzhayushchey sredy / I. Ya. Aksenov, V. I. Aksenov. M. : Transport. 1986. – 176 s.
5. Ekologiya avtomobilnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya / V. A. Zvonov [i dr.]. – Lugansk: VNU im. V. Dalya. 2004. – 268 s.
6. Parsadanov, I. V. Povysheniye kachestva i konkurentosposobnosti dizeley na osnove toplivno-ekologicheskogo kriteriya / I. V. Parsadanov. – Kharkov : Izd. tsentr NTU «KhPI». 2003. – 244 s.
7. Kulchitskiy, A. R. Toksichnost avtomobilnykh i traktornykh dvigateley / A. R. Kulchitskiy. – Vladimir : Izd-vo Vladimirskego gos. un-ta. 2000. – 256 s.
8. Kukharenok, G. M. Snizheniye vybrosov vrednykh veshchestv dizelnykh dvigateley / G. M. Kukharenok, A. N. Petruchenko, V. I. Berezun. – Moskva : Novoye znaniye. 2014. – 220 s.
9. O bezopasnosti selskokhozyaystvennykh i lesokhozyaystvennykh traktorov i pritsepov k nim TR TS 031/2012 : prinyat 20.07.2012 : vstup. v silu 19.08.2012 / Evraz. ekon. komis. – Minsk : Ekonomenergo. 2012. – 60 s.
10. Heck, R. Catalytic Air Pollution Control / R. Heck, R. Farrauto, S. Galati. – NEW York, John Wiley & Sons, 2002. – 391 p.
11. Kukharenok, G. M. Sovershenstvovaniye rabocheho protsessa dizelnykh dvigateley / G. M. Kukharenok, V. I. Berezun // Izobretatel. – 2018. – № 1 (217). – S. 37–40.

РЕФЕРАТ

Кухарьонко Г. М. Напрями забезпечення екологічних показників дизеля / Г. М. Кухарьонко, В. І. Березун // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2019. – Вип. 3 (45).

У статті розглянуто п'ять способів поліпшення екологічних показників дизеля з урахуванням вагових факторів циклу токсичності, пріоритету витрати палива при зростанні навантаження і комплектації, а також побудована діаграма залежності PM від NO_x підсумкового циклу токсичності, що дозволяє здійснювати вибір напрямків зниження викидів шкідливих речовин з урахуванням

необхідної для досягнення норм Stage 4 ступеня конверсії системи очищення відпрацьованих газів, зміни середньої температури відпрацьованих газів циклу токсичності і паливної економічності.

Відзначено, що напрям організації робочого процесу для мінімізації NO_x з глибокої рециркуляцією відпрацьованих газів, доцільно тільки для виконання норм екологічного рівня Stage 4 для дизеля з механічною системою паливоподачі. При розгляді фінальних стадій емісійного законодавства реалізація розглянутого підходу супроводжується значним зростанням витрат палива при необхідності застосування складної комплексної системи очищення відпрацьованих газів. Визначено параметри паливоподачі і ступеня рециркуляції відпрацьованих газів, що дозволяють забезпечити виконання норм Stage 4 по PM без застосування сажового фільтра при комплектації дизеля без рециркуляції відпрацьованих газів зі ступенем конверсії $K_{NO_x} = 0,97$ і $K_{NO_x} = 0,95$ при комплектації з рециркуляцією відпрацьованих газів, при цьому зростання витрати палива не перевищує 2,4 %.

Для перевірки результатів розрахунку розроблена експериментальна установка, що складається з системи управління та активного контролю параметрів паливоподачі об'єкта дослідження, систем управління паливоподачею і режимами навантаження дизеля, комплексу індикація, систем вимірювання параметрів роботи дизеля і складу відпрацьованих газів, і проведені випробування дизеля за циклами NRSC при вибраних параметрах системи паливоподачі і ступеня рециркуляції відпрацьованих газів. Відхилення розрахункових значень від експериментальних для комплектації дизеля без рециркуляції відпрацьованих газів за підсумковим циклу токсичності склало 0,5 % для NO_x і 3,8 % для PM . Відхилення розрахункових значень від експериментальних для комплектації дизеля з рециркуляцією відпрацьованих газів за підсумковим циклу токсичності склало 2,1 % для NO_x і 2,8 % для PM .

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОБОЧИЙ ПРОЦЕС, ДИСПЕРСНІ ЧАСТИНКИ, ОКСИДИ АЗОТУ, СПОСОБИ ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ.

ABSTRACT

Kukharonak H.M., Berazun V.I., Directions ensure the environmental performance of diesel. Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Kyiv. National Transport University. 2019. Vol. 3 (45).

The article describes five ways to improve the environmental performance of the diesel engine, taking into account the weighting factors of the toxicity cycle, the priority of fuel consumption with increasing load and configuration, as well as a diagram of the dependence of PM on NO_x of the final toxicity cycle, allowing to choose the directions of reducing emissions of harmful substances, taking into account the necessary to achieve the standards of Stage 4 degree of conversion of the exhaust gas purification system, changes in the average temperature of the exhaust gases of the toxicity cycle and fuel efficiency.

It is noted that the direction of the organization of the working process to minimize NO_x with deep recirculation of exhaust gases is appropriate only for the implementation of the standards of the environmental level of Stage 4 for diesel with a mechanical fuel supply system. When considering the final stages of emission legislation, the implementation of this approach is accompanied by a significant increase in fuel consumption when it is necessary to use a complex exhaust gas treatment system. The parameters of fuel supply and the degree of exhaust gas recirculation, allowing to ensure the implementation of Stage 4 norms for PM without the use of a diesel particulate filter in the configuration of diesel without exhaust gas recirculation with a conversion rate of $K_{NO_x} = 0,97$ and $K_{NO_x} = 0,95$ when equipped with exhaust gas recirculation, while the increase in fuel consumption does not exceed 2,4 %.

To verify the results of the calculation, an experimental setup consisting of a control system and active control of the fuel supply parameters of the object of study, fuel supply control systems and diesel loading modes, an indexing complex, systems for measuring the parameters of diesel operation and the composition of exhaust gases was developed, and diesel was tested on NRSC cycles at the selected parameters of the fuel supply system and the degree of exhaust gas recirculation. The deviation of the calculated values from the experimental values for the complete set of diesel without exhaust gas recirculation for the final toxicity cycle was 0,5 % for NO_x and 3,8 % for PM . The deviation of the calculated values from the experimental values for the complete set of diesel with exhaust gas recirculation for the final cycle of toxicity was 2,1 % for NO_x and 2,8 % for PM .

KEYWORDS: COMBUSTION PROCESS, PARTICLES MATTER, NITROGEN OXIDE, WAYS TO IMPROVE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE.

РЕФЕРАТ

Кухарёнок Г. М. Направления обеспечения экологических показателей дизеля / Г. М. Кухарёнок, В. И. Березун // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник – К.: НТУ, 2019. – Вып. 3 (45).

В статье рассмотрены пять способов улучшения экологических показателей дизеля с учетом весовых факторов цикла токсичности, приоритета расхода топлива при росте нагрузки и комплектации, а также построена диаграмма зависимости PM от NO_x итогового цикла токсичности, позволяющая осуществлять выбор направлений снижения выбросов вредных веществ с учетом необходимой для достижения норм Stage 4 степени конверсии системы очистки отработавших газов, изменения средней температуры отработавших газов цикла токсичности и топливной экономичности.

Отмечено, что направление организации рабочего процесса для минимизации NO_x с глубокой рециркуляцией отработавших газов, целесообразно только для выполнения норм экологического уровня Stage 4 для дизеля с механической системой топливоподачи. При рассмотрении финальных стадий эмиссионного законодательства реализация рассматриваемого подхода сопровождается значительным ростом расхода топлива при необходимости применения сложной комплексной системы очистки отработавших газов. Определены параметры топливоподачи и степени рециркуляции отработавших газов, позволяющие обеспечить выполнение норм Stage 4 по PM без применения сажевого фильтра при комплектации дизеля без рециркуляции отработавших газов со степенью конверсии $K_{NO_x} = 0,97$ и $K_{NO_x} = 0,95$ при комплектации с рециркуляцией отработавших газов, при этом рост расхода топлива не превышает 2,4 %.

Для проверки результатов расчета разработана экспериментальная установка, состоящая из системы управления и активного контроля параметров топливоподачи объекта исследования, систем управления топливоподачей и режимами нагружения дизеля, комплекса индицирования, систем измерения параметров работы дизеля и состава отработавших газов, и проведены испытания дизеля по циклам NRSC при выбранных параметрах системы топливоподачи и степени рециркуляции отработавших газов. Отклонение расчетных значений от экспериментальных для комплектации дизеля без рециркуляции отработавших газов по итоговому циклу токсичности составило 0,5 % для NO_x и 3,8 % для PM . Отклонение расчетных значений от экспериментальных для комплектации дизеля с рециркуляцией отработавших газов по итоговому циклу токсичности составило 2,1 % для NO_x и 2,8 % для PM .

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС, ДИСПЕРСНЫЕ ЧАСТИЦЫ, ОКСИДЫ АЗОТА, СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.

АВТОРИ:

Кухаренок Георгій Михайлович, доктор технічних наук, професор, Білоруський національний технічний університет, e-mail: kux@tut.by, тел. +375296969272, Республіка Білорусь, 220013, м. Мінськ, пр-т Независимости, 65, orcid.org/0000-0001-8731-3373.

Березун Віталій Іванович, кандидат технічних наук, Білоруський національний технічний університет, e-mail: vitaliy.berezun@gmail.com, тел. +375297617037, Республіка Білорусь, 220013, м. Мінськ, пр-т Независимости, 65, orcid.org/0000-0003-4972-3499.

AUTORS:

Kukharonak H.M., Doctor of Technical Science, Belarusian National Technical University, e-mail: kux@tut.by, tel. +375296969272, Belarus, 220013, Minsk, Nezavisimosti ave., orcid.org/0000-0001-8731-3373

Berazun V.I., Ph.D. of Technical Science, Belarusian National Technical University, e-mail: vitaliy.berezun@gmail.com, tel. +375297617037, Belarus, 220013, Minsk, Nezavisimosti ave., orcid.org/0000-0003-4972-3499

АВТОРЫ:

Кухаренок Георгий Михайлович, доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, e-mail: kux@tut.by, тел. +375296969272, Республика Беларусь, 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, orcid.org/0000-0001-8731-3373.

Березун Виталий Иванович, кандидат технических наук, Белорусский национальный технический университет, e-mail: vitaliy.berezun@gmail.com, тел. +375297617037, Республика Беларусь, 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, orcid.org/0000-0003-4972-3499.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

Бойков В.П., доктор технічних наук, Білоруський національний технічний університет, завідувач кафедри тракторів, Мінськ, Білорусь.

REVIEWER:

Mateichyk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, professor of the ecology and life safety department, Kyiv, Ukraine.

Boikov V.P., Doctor of Technical Sciences, Belarusian National Technical University, head of the tractors department, Minsk, Belarus.