

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 4 (2021)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано
Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/PIZZ2271>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/ZKDZ2211>

А. Р. Кульчицкий¹, Ю. И. Честнов²

^{1,2}АО «Камешковский механический завод»,
Российская Федерация, г. Камешково

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЦИРКУЛЯЦИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ В ДИЗЕЛЯХ

Метод рециркуляции отработавших газов в двигателях внутреннего сгорания и отходящих газов в промышленных установках применяют для уменьшения образования оксидов азота в ходе процесса сжигания топлива. Этот эффект достигается, в основном, благодаря разбавлению воздуха, участвующего в сгорании топлива, продуктами сгорания, в которых концентрация кислорода значительно меньше, чем в атмосферном воздухе. Соответственно, чем в большей степени свежий заряд воздуха замещается на продукты сгорания, тем в большей степени проявляется указанный эффект. Однако уменьшение концентрации кислорода в смеси воздушного заряда и продуктов сгорания является причиной увеличения неполноты сгорания топлива, т.е. приводит к повышению образования продуктов неполного сгорания: углеводородов, оксида углерода, углерода (последний продукт определяет уровень дымности ОГ).

Таким образом, степень замещения воздуха продуктами сгорания будет определяться значениями предельно допустимых концентраций оксидов азота и продуктов неполного сгорания, установленными в той или иной нормативной документации. Полученные в ходе данного исследования результаты показали, что повышение эффективности процесса рециркуляции отработавших газов в дизелях обеспечивается варьированием степени замещения ими воздушного заряда в зависимости от режима работы двигателя, и может достигать 80 % на режиме минимальных оборотов холостого хода. Однако на режимах полной мощности, отличающихся повышенным сажеобразованием, применение рециркуляции отработавших газов нежелательно.

Ключевые слова: дизель, рециркуляция, отработавшие газы, оксиды азота; дымность, температура отработавших газов.

Введение

Процесс сгорания топлив (твердых, жидких, газообразных) независимо от источника их происхождения сопровождается образованием вредных веществ (ВВ). Одним из таких ВВ являются оксиды азота NO_x – продукт окисления азота, содержащегося в воздухе, кислородом, также содержащимся в воздухе. Обязательным условием при этом является наличие высокой температуры в зоне продуктов сгорания (более 2000 °С) вследствие процесса горения. Таким

образом, процесс образования оксидов азота не зависит от химической природы топлива [1]. Это является принципиальным отличием от процессов образования, в частности, углеводородов C_nH_m , оксида углерода CO, углерода C и диоксида углерода CO_2 , являющихся продуктами окисления углерода и водорода – основных составляющих топлива.

В процессе сжигания топлив интенсивно потребляется кислород из воздуха, содержание же азота в продуктах сгорания почти не отличается от его содержания в воздухе. Соответственно воздействовать на количество образующихся оксидов азота можно только через воздействие на концентрацию кислорода, а также на величину температуры продуктов сгорания. Одним из наиболее эффективных методов уменьшения образования NO_x является рециркуляция отработавших газов (ОГ) – Exhaust Gas Recirculation (EGR): замещение части воздушного заряда продуктами сгорания. Данное влияние определяется, во-первых, уменьшением концентрации кислорода в смеси воздушного заряда и продуктов сгорания, а во-вторых, повышением теплоемкости смеси воздуха и ОГ вследствие увеличения концентрации диоксида углерода CO_2 , что приводит к понижению температуры сгорания и соответственно – температуры в зоне продуктов сгорания.

Отрицательным моментом применения метода EGR является увеличение содержания в ОГ продуктов неполного сгорания топлива: CO, C_nH_m и C (что обуславливает ухудшение топливной экономичности). Именно это обстоятельство является граничным условием степени замещения воздушного заряда продуктами сгорания, поскольку выброс указанных вредных веществ и NO_x подлежит нормированию в соответствии с международными и национальными стандартами, регламентирующими экологический уровень двигателей и транспортных средств.

Эффективность применения метода EGR прямо пропорциональна степени замещения воздушного заряда продуктами сгорания и обратно пропорциональна повышению температуры смеси воздушного заряда и рециркулируемых газов (поскольку последние имеют температуру гораздо выше температуры воздушного заряда). Последнее обстоятельство приводит к увеличению образования NO_x , и для снижения подобного эффекта применяется охлаждение рециркулируемых газов [1]. Негативное воздействие оказывает также загрязнение смазочного масла увеличенным содержанием сажи в цилиндре двигателя; для нейтрализации этого эффекта в системе EGR устанавливаются фильтр, уменьшающий проникновение в цилиндр двигателя сажи [2].

Материалы и методы

Экологический уровень двигателя оценивается при испытаниях по так называемому «испытательному циклу» (ИЦ), представляющему собой совокупность наиболее вероятных режимов работы двигателя в условиях эксплуатации. Например, для двигателей, устанавливаемых на сельскохозяйственные и лесохозяйственные трактора, нормирование проводится по 8-ступенчатому ИЦ согласно Правилам ООН № 96: из этих 8 режимов два соответствуют режиму полной подачи топлива (номинальная мощность и максимальный крутящий

момент), а остальные – это режимы частичной мощности, из которых один – это режим минимальных оборотов холостого хода.

Нормированию подлежит удельный выброс каждого ВВ с ОГ $g_{\text{ВВ}}$, который учитывает для каждого из 8 режимов концентрацию вредного вещества, расходы воздуха и топлива, а также вероятность каждого из режимов для условного процесса эксплуатации (через коэффициент весоности режима K). Согласно Правилам №96 расчёт $g_{\text{ВВ}}$ производится по формуле:

$$g_{\text{ВВ}} = \frac{\sum_1^n W_{\text{ВВ}i} \cdot (G_{\text{В}i} + G_{\text{Т}i})}{\sum_1^n (N_{ei} \cdot K_i)}, \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где $W_{\text{ВВ}}$ – концентрация вредного вещества в ОГ, ppm;

$G_{\text{В}}$ – массовый расход воздушного заряда, кг/ч;

$G_{\text{Т}}$ – массовый расход топлива, кг/ч;

N_e – мощность двигателя, кВт;

K – коэффициент весоности режима;

i – номер режима по ИЦ ($i = 1, \dots, 8; n = 8$).

Анализ этой формулы показывает, что значения N_{ei} для конкретного двигателя постоянные, т.е. варьировать ими невозможно. Значения коэффициента весоности K также фиксированы согласно Правилам ООН № 96. Значением $G_{\text{Т}}$ можно пренебречь, поскольку оно в несколько десятков раз меньше, чем величина $G_{\text{В}}$. Соответственно, воздействовать на величину $g_{\text{ВВ}}$ можно только через изменение значений $G_{\text{В}}$ и $W_{\text{ВВ}}$.

Система EGR позволяет управлять значениями обеих величин: концентрацией NO_x в ОГ (как следствие влияния на состав газа в цилиндре) и расходом воздуха (как следствие замещения части воздушного заряда отработавшими газами). В пределе, если воздух полностью заместить на ОГ (100 % рециркуляция), то расход воздуха через двигатель станет равным нулю; соответственно, числитель уравнения будет также равен нулю. В действительности, 100 % рециркуляции достичь невозможно, поскольку для процесса горения нужен кислород, концентрация которого от цикла к циклу будет снижаться и, в конце концов, его будет недостаточно для обеспечения горения.

Что касается зависимости концентрации NO_x в ОГ от нагрузки (независимо от скоростного режима), то она носит нелинейный характер с общей тенденцией прямой пропорциональности. И такая зависимость сохраняется до нагрузки, при которой начинается резкий рост сажеобразования, что визуально проявляется как резкое увеличение дымности ОГ (в зависимости от организации рабочего процесса эта нагрузка может составлять 90...100 % от полной) [3]. Соответственно, вклад в общий выброс NO_x тем больше, чем выше нагрузка (особенно это характерно для двигателей с наддувом, поскольку у них с ростом нагрузки увеличивается и

расход воздуха), т. е. для повышения эффективности системы EGR необходимо максимально сокращать выброс оксидов азота именно на режимах больших нагрузок.

Двигатели с внешним смесеобразованием независимо от нагрузки работают на топливовоздушных смесях практически постоянного состава, причем близкого к стехиометрическому (коэффициент избытка воздуха $\alpha \sim 1$). В результате чего остаточная концентрация кислорода O_2 в ОГ этих двигателей не превышает 1%. В дизелях соотношение «топливо/воздух» зависит от величины нагрузки: при полной нагрузке $\alpha \geq 1,3 \dots 1,5$ (на дизелях с наддувом $\alpha \geq 1,7 \dots 2,2$), а на режимах холостого хода α может достигать значения $7 \dots 9$, соответственно остаточная концентрация кислорода в ОГ колеблется в диапазоне $5 \dots 18\%$ [2, 3–5].

Таким образом, в дизелях на режимах малых и средних нагрузок концентрация O_2 в ОГ избыточна, поскольку превышает минимально необходимую для обеспечения процесса сгорания. Соответственно, подача в цилиндр двигателя некоторого количества ОГ не приведет к заметному ухудшению процесса сгорания, т.е. предельное значение степени рециркуляции K_r зависит от концентрации кислорода в ОГ, и чем меньше нагрузка на двигатель, тем более высокое значение степени рециркуляции можно обеспечить. Поэтому эффективность метода EGR на режимах полной нагрузки будет определяться понижением концентрации NO_x в ОГ, на малых нагрузках – снижением массового расхода воздуха, а на средних нагрузках – сочетанием обоих факторов.

Однако следует отметить, что предел рециркуляции, в немалой степени, зависит от предъявляемых требований к экологическому уровню дизелей, и поскольку экологические требования периодически ужесточаются, то и предельное значение рециркуляции периодически необходимо уточнять.

Достижение максимальной эффективности системы EGR возможно только за счет обеспечения постоянной обратной связи между величиной K_r и управляющим сигналом. В качестве последнего может быть взято значение концентрации кислорода в ОГ или температуры ОГ. В настоящей работе за базу взят сигнал от датчика температуры ОГ, что позволило сформировать достаточно простую управляющую функцию [6–12].

Результаты и обсуждение

Объекты испытаний: четырехцилиндровые дизели тракторного назначения с двух- и трёхклапанными головками цилиндров, с естественным впуском воздуха и турбонаддувом, с различными моделями топливных насосов высокого давления (ТНВД) и турбокомпрессоров (ТКР).

Средство измерения концентрации кислорода и оксидов азота – комплексный анализатор «Com/NOx 4000», дымности ОГ – дымомер «415S» (оба производства ф. AVL, Австрия).

Степень рециркуляции K_r определялась по степени замещения воздушного заряда отработавшими газами:

$$K_r = 100 \cdot \frac{(V_{во} - V_{вр})}{V_{вр}}, \%,$$

где $V_{во}$ и $V_{вр}$, м³/ч – объемные расходы воздуха без рециркуляции и при рециркуляции ОГ соответственно.

Результаты оптимизации регулировок системы EGR при граничном условии по пределу дымности ОГ позволили достичь максимальной степени рециркуляции на режиме минимальных оборотов холостого хода при условии охлаждения рециркулируемых газов. Предельное значение дымности в 35 % по шкале Hartridge принято из условия обеспечения текущих требований к экологическому уровню тракторных дизелей указанной мощности в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза 031/2012 «О безопасности сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и прицепов к ним».

Результаты испытаний показали увеличение концентрации NO_x в ОГ на режимах полной нагрузки, что указывает на преобладающее влияние подогрева воздушного заряда по отношению к снижению концентрации кислорода в ОГ. В связи с этим в окончательном варианте было принято решение отказаться от рециркуляции на этих режимах. В результате, итоговое снижение удельного выброса NO_x при испытаниях по 8-ступенчатому ИЦ составило 40% при обеспечении охлаждения рециркулируемых газов, а в случае отсутствия охлаждения – не более 10 % (при резком росте – в 1,5...2,0 раза – дымности ОГ и эмиссии CO в последнем случае).

Проведенные испытания двигателей при различных комплектациях и регулировках в широком диапазоне нагрузок и частот вращения коленчатого вала показали возможность создания достаточно простой системы управления, а именно: при всех упомянутых изменениях зависимость предельного (по величине дымности ОГ) значения замещения воздушного заряда рециркулируемыми газами оказалась линейно зависящей от температуры ОГ t_r (рисунок 1).

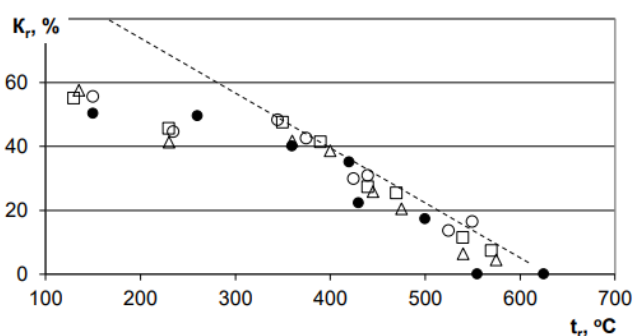


Рисунок 1 – Зависимость степени замещения воздушного заряда рециркулируемыми газами K_r от температуры отработавших газов t_r двигателя с турбонаддувом.

Отклонение от линейности при температурах ниже 350 °С обусловлено недостаточным проходным сечением системы EGR (величина проходного сечения клапана системы рециркуляции изменялась обратно пропорционально значению температуры ОГ), что не позволило обеспечить максимально возможную K_p . В результате, наибольшее значение последней составило 57,6 %, хотя возможно было увеличение и до 80 % при 150 °С (штриховая линия), т. е. на режиме минимальных оборотов холостого хода (см. рисунок 1).

Следует отметить, что экономичность тракторных дизелей в соответствии с техническими условиями на них оценивается расходом топлива на номинальной (или эксплуатационной) мощности. Поскольку на этом режиме рециркуляция ОГ в окончательном варианте не применялась, то показатели экономичности двигателей соответствовали показателям для штатной комплектации двигателя, т.е. для случая без применения рециркуляции ОГ.

Выводы

Для уменьшения образования оксидов азота в дизелях одним из наиболее эффективных методов является рециркуляция отработавших газов. Эффективность применения данного метода прямо пропорциональна степени замещения воздушного заряда продуктами сгорания и обратно пропорциональна повышению температуры смеси воздушного заряда и рециркулируемых газов.

Результаты работы по оценке повышения эффективности процесса рециркуляции ОГ в дизелях показали следующее:

- предельное значение степени рециркуляции ОГ на каждом режиме работы дизеля определяется остаточной концентрацией кислорода в ОГ, значение которого должно обеспечить необходимую полноту сгорания топлива, и предельно допустимым значением дымности отработавших газов;

- для достижения максимальной эффективности системы рециркуляции использован сигнал от датчика температуры ОГ, что позволило сформировать управляющую функцию, имеющую практически линейную зависимость между управляющим сигналом и степенью рециркуляции;

- без применения промежуточного охлаждения рециркулируемых газов эффективность снижения выбросов оксидов азота при испытаниях по 8-ступенчатому испытательному циклу согласно Правилам ООН № 96 составила не более 10 % при одновременном увеличении в 1,5...2,0 раза эмиссии оксида углерода и дымности ОГ;

- использование промежуточного охлаждения рециркулируемых газов позволило достичь снижения удельного выброса оксидов азота на 40 % при обеспечении предельно допустимом значении дымности отработавших газов и удельном расходе топлива согласно техническим условиям на двигатели.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Таймаров, М. А., Лавирко, Ю. В.** Оценка интенсивности химических реакций образования оксидов азота при сжигании метано-водородных смесей различного состава // Вестник Технологического университета. – 2018. – Т. 21. – № 7. – С. 58–61.

2 **Камерлохер, В. А., Осинцев, А. И., Беляева, А. А.** К вопросу токсичности двигателей внутреннего сгорания // Молодой ученый. – 2015. – № 12-1(92). – С. 33–36.

3 **Марков, В. А., Баширов, Р. М., Габитов, И. И., Кислов, В. Г.** Токсичность отработавших газов дизелей. – Уфа : Изд-во БГАУ, 2000 – 144 с.

4 **Гаврилов, П., Зарипов, Р. Ю., Карку, А. Д., Серикпаев, Т. М.** Методы снижения токсичности отработавших газов дизеля // Наука и техника Казахстана. – 2019. – № 1. – С. 75–85.

5 **Ордабаев, Е. К., Ахметов, С. И., Есаулков, В. С.** О расширении возможностей метода рециркуляции отработавших газов в поршневом двигателе внутреннего сгорания // Наука и техника Казахстана. – 2019. – № 1. – С. 22–26.

6 **Бесекерский, В. А., Попов, Е. П.** Теория систем автоматического управления. Изд.4.е, перераб. и доп. СПб. : Профессия, 2003. – 752 с.

7 **Baumgard, K.** Exhaust Aftertreatment and Low Pressure Loop EGR / John Deere Power Systems. – USA, 2005. – 19 p.

8 **Mueller, V., Christmann, R., Muenz, S.** System Structure and Controller Concept for an Advanced Turbocharger-EGR System // SAE Internashinal. – 2005-01-3888. – 11 p.

9 Emission Control of Diesel-Fueled Vehicles. – Washington : Manufacturers of Emission Controls Association, 1997. – 22 p.

10 **Mattei, M., Luca Crippa, L., Galetti, M.** Stage IIIB-Tier 4i and Stage IV-Tier 4 Engine System Integration in Agricultural Tractors // AVL List GmbH and SAE International. – 2011. – P. 105–112.

11 **Gui X., Dou D., Mahakul D.** Integrated and Differentiated Solutions for Non-road Emissions Solutions // AVL List GmbH and SAE International. – 2011. – P. 121–126.

12 **Nikolova, D., Barzev, K.** Experimental emissions testing for SCR retrofitted off-road heavy-duty diesel engine over different engine-out setting // Bolgaria. EKOVARNA. – 2016. – P. 228–235.

REFERENCES

- 1 **Taymarov, M. A., Lavirko, Yu. V.** Otsenka intensivnosti khimicheskikh reaktsiy obrazovaniya oksidov azota pri szhiganii metano-vodorodnykh smesey razlichnogo sostava [Evaluation of the intensity of chemical reactions of the formation of nitrogen oxides during the combustion of methane-hydrogen mixtures of various compositions] // Bulletin of the Technological University. – 2018. – Т. 21. – No. 7. – P. 58–61.
- 2 **Kamerlokher, V. A., Osintsev, A. I., Belyayeva, A. A.** K voprosu toksichnosti dvigateley vnutrennego sgoraniya [On the issue of toxicity of internal combustion engines] // Young scientist. – 2015. – No. 12-1 (92). – P. 33–36.
- 3 **Markov, V. A., Bashirov, R. M., Gabitov, I. I. and Kislov, V. G.** Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizeley [Toxicity of exhaust gases of diesel engines]. – Ufa : Publishing House of BSAU, 2000. – 144 p.
- 4 **Gavrilov, P., Zaripov R. Yu., Karku A. D., Serikpayev T. M.** Metody snizheniya toksichnosti otrabotavshikh gazov dizelya [Methods for reducing the toxicity of diesel exhaust gases] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2019. – No. 1. – P. 75–85.
- 5 **Ordabayev, Ye. K., Akhmetov S. I., Yesaulkov V. S.** O rasshirenii vozmozhnostey metoda retsirkulyatsii otrabotavshikh gazov v porshnevom dvigatele vnutrennego sgoraniya [On expanding the possibilities of the exhaust gas recirculation method in a piston internal combustion engine] // Science and Technology of Kazakhstan. – 2019. – No. 1. – P. 22–26.
- 6 **Besekersky, V. A., and Popov, E. P.** Teoriya system avomaticheskogo kontrolya [The theory of automatic control systems]. 4th ed. – St. Petersburg : Professiya, 2003. – 752 p.
- 7 **Baumgard K.** Exhaust Aftertreatment and Low Pressure Loop EGR / John Deere Power Systems. – USA 2005. – 19 p.
- 8 **Mueller, V., Christmann, R., Muenz, S.** System Structure and Controller Concept for an Advanced Turbocharger-EGR System // SAE Internashinal. – 2005-01-3888. – 11 p.
- 9 Emission Control of Diesel-Fueled Vehicles // Washington. Manufacturers of Emission Controls Association. – 1997. – 22 p.
- 10 **Mattei, M., Luca Crippa, L., Galetti M.** Stage IIIB-Tier 4i and Stage IV-Tier 4 Engine System Integration in Agricultural Tractors // AVL List GmbH and SAE International. – 2011. – P. 105–112.
- 11 **Gui, X., Dou D., Mahakul D.** Integrated and Differentiated Solutions for Non-road Emissions Solutions // AVL List GmbH and SAE International. – 2011. – P. 121–126.
- 12 **Nikolova, D., Barzev, K.** Experimental emissions testing for SCR retrofitted off-road heavy-duty diesel engine over different engine-out setting // Bolgaria. EKOVARNA. 2016. – P. 228–235.

Материал поступил в редакцию 17.12.21

***А. Р. Кульчицкий¹, Ю. И. Честнов²**

^{1,2}«Камешково механикалық зауыты» АҚ,

Ресей Федерациясы, Камешково қ.

Материал баспаға 17.12.21 түсті.

ДИЗЕЛЬДЕРДЕГІ ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ГАЗДАРДЫ РЕЦИРКУЛЯЦИЯЛАУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ

Жану процесі кезінде азот оксидтерінің түзілуін азайту үшін іштен жанатын қозғалтқыштардағы пайдаланылған газдарды және өнеркәсіптік кәсіпорындардағы пайдаланылған газдарды рециркуляциялау әдісі қолданылады. Бұл әсер негізінен оттегінің концентрациясы атмосфералық ауаға қарағанда әлдеқайда төмен болатын жану өнімдерімен отынның жануына қатысатын ауаның сұйылтуы есебінен қол жеткізіледі. Тиісінше, ауаның таза заряды жану өнімдерімен қаншалықты ауыстырылса, соғұрлым бұл әсер көрінеді. Дегенмен, ауа заряды мен жану өнімдерінің қоспасындағы оттегі концентрациясының төмендеуі отынның жануының толық еместігінің жоғарылауын тудырады, яғни. толық емес жану өнімдерінің түзілуінің ұлғаюына әкеледі: көмірсутектер, көміртек тотығы, көміртек (соңғы өнім пайдаланылған газдың мөлдірлік деңгейін анықтайды).

Осылайша, жану өнімдерімен ауаны ауыстыру дәрежесі сол немесе басқа нормативтік құжаттамада белгіленген азот оксидтері мен толық емес жану өнімдерінің рұқсат етілген шекті концентрацияларының мәндерімен анықталады. Осы зерттеу барысында алынған нәтижелер дизельдік қозғалтқыштардағы пайдаланылған газды рециркуляциялау процесінің тиімділігін арттыру қозғалтқыштың жұмыс режиміне байланысты олармен ауа зарядын ауыстыру дәрежесін өзгерту арқылы қамтамасыз етілетінін және 80-ге жетуі мүмкін екенін көрсетті. % ең аз жылдамдық режимінде бір жаяу жүргінші. Алайда, күйенің пайда болуының жоғарылауымен сипатталатын толық қуат режимдерінде пайдаланылған газдың рециркуляциясын пайдалану қажет емес.

Кілті сөздер: дизель, рециркуляция, пайдаланылған газдар, азот оксидтері; түтін, пайдаланылған газ температурасы.

***A. R. Kulchitskiy¹, Yu. I. Chestnov²**

^{1,2}JSC «Kameshkovo Mechanical Plant»,

Russian Federation, Kameshkovo.

Material received on 17.12.21.

INCREASING THE EFFICIENCY OF EXHAUST GAS RECIRCULATION IN DIESELS

The method of recirculation of exhaust gases in internal combustion engines and exhaust gases in industrial plants is used to reduce the formation of nitrogen oxides during the combustion process. This effect is achieved mainly due to the dilution of the air involved in the combustion of fuel with combustion products, in which the oxygen concentration is much lower than in atmospheric air. Accordingly, the more the fresh charge of air is replaced by combustion products, the more this effect is manifested. However, a decrease in the oxygen concentration in the mixture of air charge and combustion products causes an increase in the incompleteness of fuel combustion, i.e. leads to an increase in the formation of products of incomplete combustion: hydrocarbons, carbon monoxide, carbon (the latter product determines the level of opacity of the exhaust gas).

Thus, the degree of air replacement by combustion products will be determined by the values of the maximum permissible concentrations of nitrogen oxides and products of incomplete combustion, established in one or another regulatory documentation. The results obtained in the course of this study showed that an increase in the efficiency of the exhaust gas recirculation process in diesel engines is ensured by varying the degree of replacement of the air charge by them depending on the engine operating mode, and can reach 80% in the minimum speed mode single walker. However, at full power modes, characterized by increased soot formation, the use of exhaust gas recirculation is undesirable.

Keywords: diesel, recirculation, exhaust gases, nitrogen oxides; smoke, exhaust gas temperature.

Теруге 17.12.21 ж. жіберілді. Басуға 27.12.21 ж. қол қойылды.
Электрондық баспа
5,07 Mb RAM
Шартты баспа табағы 9,15 Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.
Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан
Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3875

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы
Торайғыров университеті
140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.
67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz
nitk.tou.edu.kz