

## СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕЙТРАЛИЗАТОРА ТИПА «РИЛА»

*М.П. Грабец*

Приведены результаты испытаний дизеля с использованием нейтрализатора отработавших газов «КНД-Рила». Сформулированы выводы по результатам, полученным в ходе испытаний.

*Ключевые слова:* дизель, экология, испытания, снижение вредных выбросов.

### **Введение**

В силу особенностей рабочего процесса дизеля снижение выбросов продуктов неполного сгорания, оксида углерода (II) ( $\text{CO}_2$ ), углеводородов (СН) и вредных частиц (РМ) сопровождается ростом выбросов оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и наоборот [1], поэтому для обеспечения соответствия дизеля действующим и перспективным нормам по токсичности необходимо использование методов снижения концентрации вредных веществ в отработавших газах (ОГ) воздействием непосредственно на отработавшие газы. Для этого используются нейтрализаторы различных типов и противосажевые фильтры.

На практике применяются нейтрализаторы трех типов: каталитические, термические и жидкостные. Каталитические нейтрализаторы бывают двух типов: окислительные и восстановительные.

Существующие нейтрализаторы не обеспечивают одновременного снижения оксидов азота и твердых частиц. Если они снижают содержание оксидов азота, то при этом твердые частицы остаются – это их главный недостаток. Поэтому необходимо использовать дополнительные системы, типа сажевых фильтров [2].

Большая проблема для всех типов и конструкций фильтров – это их регенерация, т. е. восстановление функциональных свойств. Лучшие образцы зарубежных фильтров способны эффективно работать в течение 10...12 ч, после чего их сопротивление становится недопустимо высоким из-за большого скопления твердых частиц. Регенерация обычно производится посредством выжигания частиц за счет разогрева фильтра либо электроэнергией, либо пропусканьем горячих газов от автономной горелки. Температура фильтра при этом должна быть не менее 800 °С. Продолжительность регенерации 3...5 мин. Для гарантированного выгорания сажи поверхность каналов фильтра покрывают катализатором (обычно благородными металлами или медью), что приводит к снижению температуры воспламенения сажи с 600...700 до 300...400 °С. Система регенерации включает в себя топливную горелку с подачей дизельного топлива (хотя возможно использование бензина, газа и других топлив), устанавливаемую до фильтрующего блока по ходу движения отработавших газов.

Южно-Уральским государственным университетом (ЮУрГУ) было предложено использовать каталитический нейтрализатор типа «РИЛА».

### **Объект испытаний**

Объектом испытаний является нейтрализатор «КНД-Рила». Каталитический нейтрализатор типа «КНД-Рила» предназначен для снижения концентрации вредных компонентов отработавших газов дизельных двигателей (в том числе «тяжелых») и может устанавливаться на любые транспортные средства.

Рабочим веществом нейтрализатора «КНД-Рила» является катализатор типа «РИЛА». Этот катализатор нечувствителен к каталитическим ядам, включая диоксид серы, что позволяет использовать стандартное, а не специальное дизельное топливо с низким (менее 50 ppm) содержанием серы. Катализатор начинает действовать при температуре отработавших газов выше 200 °С, но также не менее эффективно и устойчиво работает при температуре газов выше 280 °С.

Нейтрализатор предназначен для обезвреживания основных вредных компонентов отработавших газов – вредных частиц и оксидов азота. Из-за высокого содержания кислорода в отработавших газах дизельных двигателей степень восстановления  $\text{NO}_x$  зависит от содержания СО,

СН и вредных частиц в отработавших газах, что не вызывает необходимость дополнительной подачи воздуха. Достижимая степень нейтрализации составляет: до 80 % – для оксида углерода (II), до 70 % – для углеводородов, до 30 % – для оксидов азота и до 70 % – для вредных частиц. Комплексная эффективность нейтрализации отработавших газов с учетом относительной токсичности вредных компонентов, при использовании «КНД-Рила» может достигать 40 % («KND-Rila». Technical description. Bulgaria, 2000. 3 p.).

Катализатор не является фильтром для сокращения дымности, а действует как химически активный катализатор, который «дожигает» органические вещества и самую вредную часть отработавших газов, содержащую тяжелые нефтяные фракции с высокой канцерогенностью.

Важным качеством «КНД-Рила» является повышение степени нейтрализации отработавших газов при ухудшенных характеристиках (по содержанию вредных компонентов) режима работы двигателя.

В нейтрализаторе в качестве носителя используются гранулы окиси алюминия, обеспечивающие самоочистку в процессе работы двигателя за счет вибрации.

Оптимальной схемой реактора с применением гранулированного катализатора является схема, в которой впуск отработавших газов осуществляется в верхнюю зону реактора. Затем газы «продавливаются» через катализатор с одновременным «прижатием» гранул к нижней сетке. Это позволяет избежать эффекта «вспенивания» и механического повреждения гранул. Выпуск производится через нижнюю часть реактора. Такая схема обеспечивает наиболее эффективную работу каталитического нейтрализатора.

Ниже приведены достоинства нейтрализатора «КНД-Рила»:

1. Снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами до 40 %.
2. В состав активного вещества не входят драгоценные и редкоземельные элементы.
3. Для работы нейтрализатора не требуется дизельное топливо с пониженным содержанием серы. Двигатель может работать на обычном топливе.
4. Температура отработавших газов, при которой начинает функционировать нейтрализатор – 200 °С, что позволяет использовать нейтрализатор для любых типов дизелей широкого диапазона мощности.
5. Нейтрализатор не требует обслуживания в течение длительного времени (до 100 000 км пробега).
6. Более эффективное по сравнению с обычным глушителем снижение шума выпуска.
7. Снижение сопротивления на выпуске по сравнению с серийными системами нейтрализации, что влечет уменьшение удельного расхода топлива.

### Методика испытаний

Нейтрализатор «КНД-Рила» устанавливается на тракторный дизель: четырехтактный, четырехцилиндровый с рядным расположением цилиндров. Установка производится именно на этот двигатель, потому что он устанавливается на большое количество тракторов.

Испытания проходят в несколько этапов:

1. Определение параметров назначения, дымности, выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизеля в исходной комплектации (без нейтрализатора).
2. Определение параметров назначения, дымности, выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизеля с каталитическим нейтрализатором отработавших газов «КНД-Рила».
3. Определение параметров назначения, дымности, выбросов вредных веществ с отработавшими газами дизеля с устройством, имитирующим сопротивление нейтрализатора (для определения эффективности работы нейтрализатора).
4. Оценка влияния направления движения потока отработавших газов в нейтрализаторе на параметры назначения, дымности, выбросов вредных веществ с отработавшими газами (для определения эффективности работы нейтрализатора).

Испытания проводились по восьмьрежимному циклу ГОСТ Р 41.96-2011 (см. таблицу) [3].

Восьмьрежимный цикл

Номер режима	Число оборотов двигателя	Нагрузка, %
1	Номинальное	100
2	Номинальное	75
3	Номинальное	50
4	Номинальное	10
5	Промежуточное	100
6	Промежуточное	75
7	Промежуточное	50
8	Холостой ход	–

### Результаты испытаний

В соответствии с методикой испытаний, с целью оценки влияния сопротивления нейтрализатора и глушителя на параметры дизеля, были определены параметры дизеля в комплектации с имитатором сопротивления. Необходимость проведения этого этапа обусловлена тем, что в базовой комплектации дизеля отсутствует глушитель, обладающий определённым сопротивлением, которое нужно учитывать.

Исходя из полученных значений удельных выбросов вредных веществ с отработавшими газами и дымности дизеля в комплектации с имитатором нейтрализатора, можно сделать вывод, что нейтрализатор снижает выбросы оксида углерода (II) на 35 %, более низкие значения выбросов объясняются меньшим сопротивлением на выпуске.

Из данных, полученных в ходе проведения испытаний с использованием нейтрализатора ОГ, а также при использовании того же нейтрализатора ОГ (с обратным потоком), следует, что изменение направления потока отработавших газов в нейтрализаторе привело к заметному снижению сопротивления нейтрализатора, некоторому уменьшению удельного расхода топлива и «разноплавленному» изменению эффективности работы нейтрализатора, в частности, удельные выбросы оксидов азота и дымность отработавших газов незначительно возросли, выбросы углеводородов, а также суммарных выбросов оксидов азота и неметановых углеводородов ( $\text{NO}_x + \text{NMHC}$ ) существенно снизились. Отсюда следует, что целесообразность применения данного технического решения зависит от величины выбросов конкретного двигателя.

Результаты экспериментального исследования параметров функционирования нейтрализатора приведены на рис. 1–6, где показаны значения основных показателей дизеля в различных комплектациях.

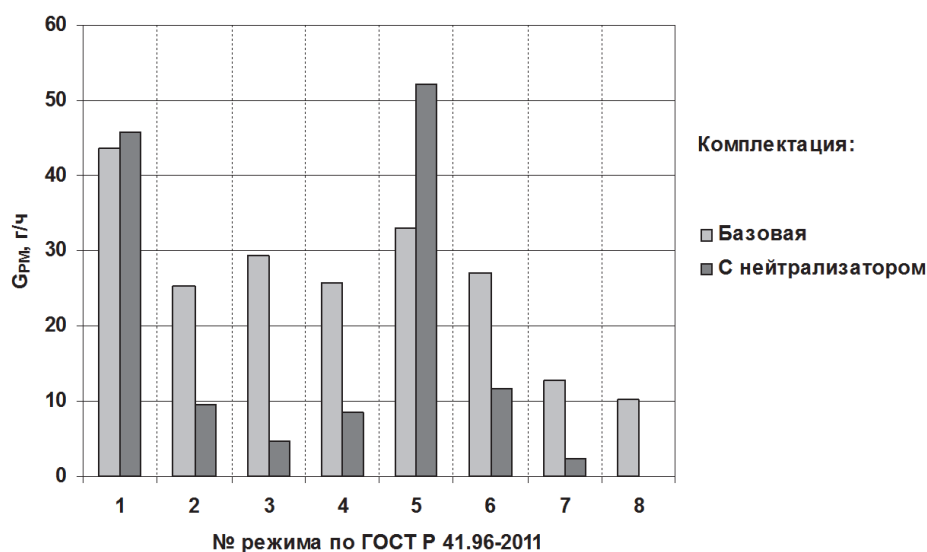


Рис. 1. Массовый расход потока выбросов вредных частиц

### Обсуждение результатов

Из рис. 1 видно, что наибольший эффект на выбросы вредных частиц нейтрализатор дает на малых нагрузках, в то время как на режиме номинальной мощности и максимального крутящего момента удельные выбросы двигателя с нейтрализатором превышают базовые. Вероятной причиной этого является повышение гидродинамического сопротивления выпускного тракта, что влечет ухудшение рабочего процесса.

На концентрацию оксидов азота (см. рис. 2) нейтрализатор оказывает противоположное влияние. При малых нагрузках выбросы  $\text{NO}_x$  несколько выше, чем при средних и больших, что хорошо согласуется с теорией рабочих процессов (чем больше выбросы вредных частиц, тем меньше выбросы оксидов азота и наоборот).

На выбросы углеводородов (см. рис. 3) нейтрализатор на всех режимах оказывает однозначно положительное влияние.

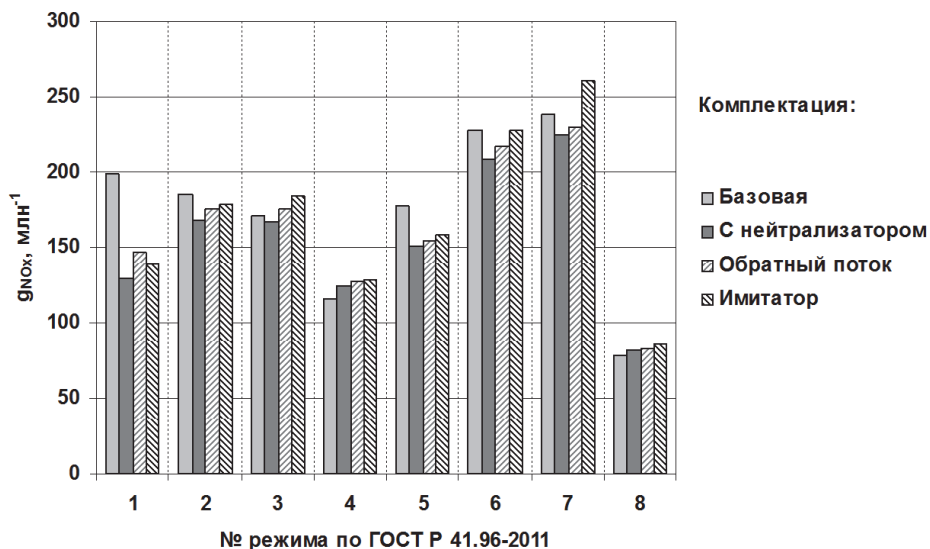


Рис. 2. Объемная доля оксидов азота в отработавших газах

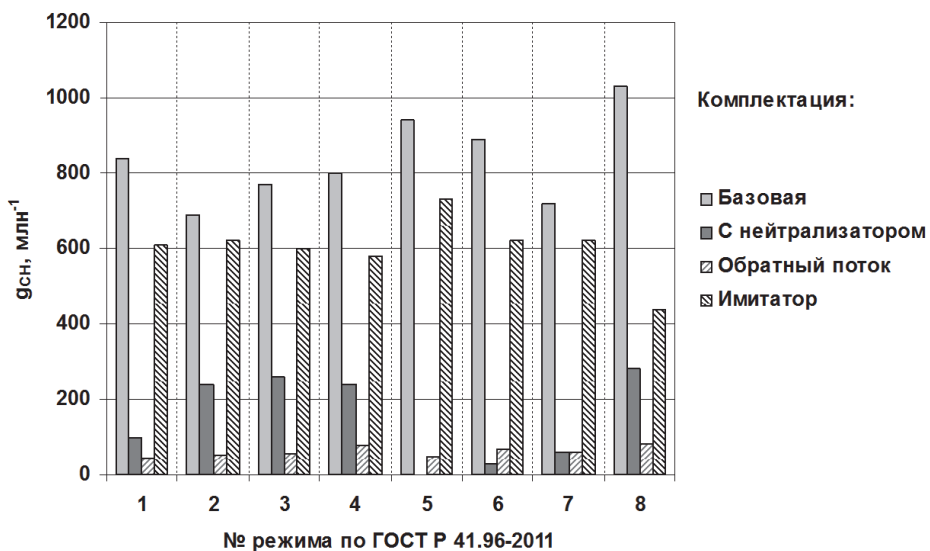


Рис. 3. Объемная доля углеводородов в отработавших газах

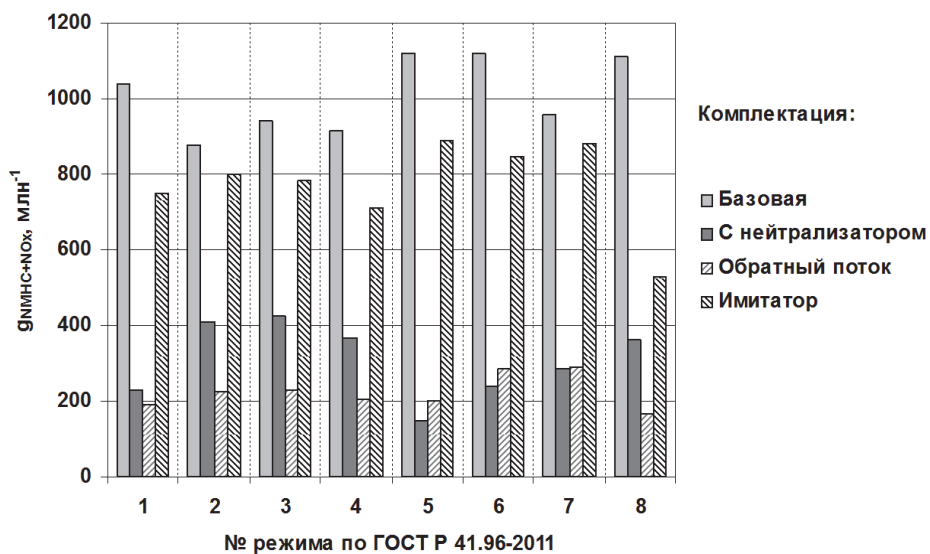


Рис. 4. Объемная доля суммарных углеводородов и оксидов азота в отработавших газах

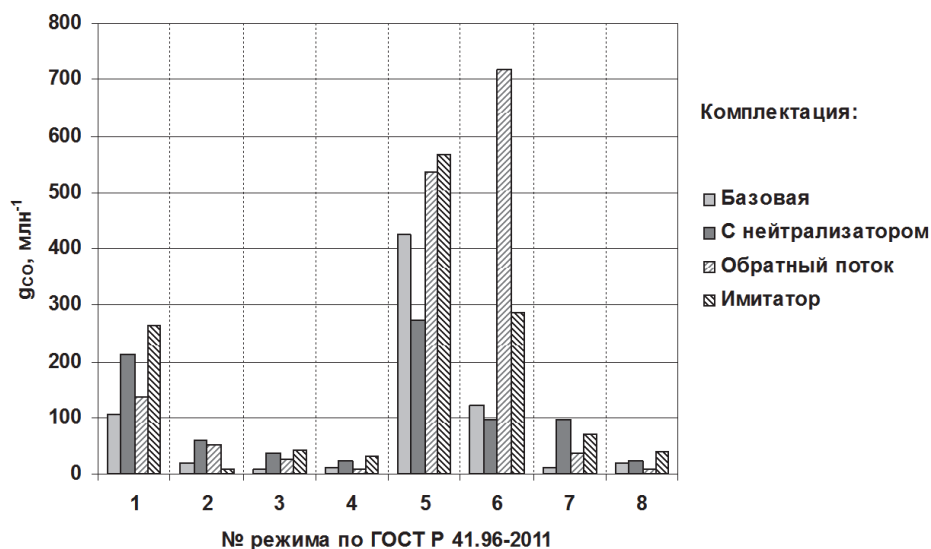


Рис. 5. Объемная доля оксида углерода (II) в отработавших газах

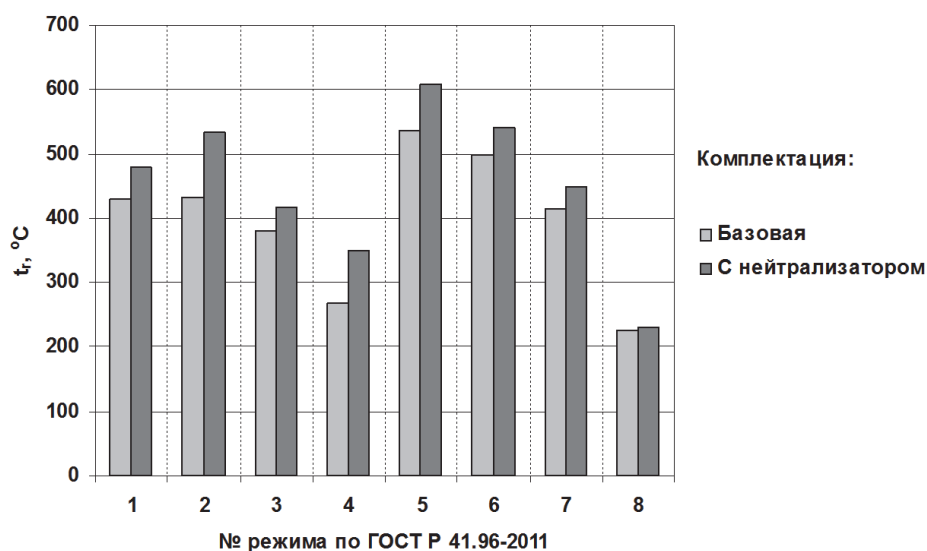


Рис. 6. Температура отработавших газов после турбокомпрессора (ТКР)

Рис. 4 имеет условный характер (так как складывать объемные доли вредных веществ не вполне корректно) и иллюстрирует преобладающее влияние углеводородов на величину  $\text{NO}_x + \text{NMHC}$ .

Наибольший эффект на концентрацию  $\text{CO}_2$  нейтрализатор оказывает на режиме максимального крутящего момента (см. рис. 5), на остальных режимах выбросы оксида углерода (II) увеличиваются. Этот факт соответствует информации разработчика нейтрализатора «КНД-Рила» и объясняется особенностями химических реакций на поверхности катализатора.

На рис. 6 показано увеличение на 50...100 °C температуры отработавших газов после турбокомпрессора вследствие увеличения гидродинамического сопротивления выпускного тракта.

### Выводы

Результаты исследований показали, что установка системы нейтрализации отработавших газов позволяет снизить величину выбросов вредных частиц – на 36 %, оксидов азота – на 8 %, оксида углерода (II) – на 35 %, углеводородов – на 73 %, что позволяет считать использование нейтрализатора «КНД-Рила» перспективным не только на этом, но и на других дизелях.

Изменение направления течения отработавших газов через нейтрализатор приводит к снижению потерь давления в нейтрализаторе на 13 % на режиме номинальной мощности и на 21 %

на режиме максимального крутящего момента, уменьшению удельных выбросов углеводородов в 3 раза. Выбросы оксидов азота, углерода (II) и дымность отработавших газов практически не изменяются.

#### Литература

1. Кульчицкий, А.Р. *Токсичность автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие* / А.Р. Кульчицкий. – Владимир: Владимир. гос. ун-т, 2000. – 256 с.
2. *Каталитическая очистка отработавших газов.* – [http://www.dvfokin.narod.ru/auto\\_ych/Benzin/Benzin\\_abgas\\_katalitic.htm](http://www.dvfokin.narod.ru/auto_ych/Benzin/Benzin_abgas_katalitic.htm) (дата обращения: 17.02.2014).
3. ГОСТ Р 41.96-2011. *Единообразные предписания, касающиеся двигателей с воспламенением от сжатия, предназначенных для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах и внедорожной технике, в отношении выброса вредных веществ этими двигателями.* – М.: Стандартинформ, 2013. – 64 с.

**Грабец Максим Петрович.** Аспирант кафедры «Колесные, гусеничные машины и автомобили», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), [ciklamen@yandex.ru](mailto:ciklamen@yandex.ru).

*Поступила в редакцию 4 марта 2014 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University  
Series "Mechanical Engineering Industry"  
2014, vol. 14, no. 2, pp. 60–65**

---

## DECREASE IN EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES WITH THE FULFILLED GASES OF DIESEL ENGINES AT USE OF NEUTRALIZER OF TYPE «RILA»

*M.P. Grabets, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, [ciklamen@yandex.ru](mailto:ciklamen@yandex.ru)*

Results of tests of a diesel engine with use of neutralizer of fulfilled gases "KND-Rila" are resulted. Conclusions by the results received during tests are formulated.

*Keywords: diesel engine, ecology, tests, decrease in harmful emissions.*

#### References

1. Kulchitskiy A.R. *Toksichnost avtomobilnykh i traktornykh dvigateley: uchebnoe posobie* [Toxicity of automobile and tractor engines: The manual]. Vladimir, VISU Publ., 2000. 256 p.
2. *Kataliticheskaya ochistka otrabotavshikh gazov* (Catalytic purification of exhaust gases). Available at: [http://www.dvfokin.narod.ru/auto\\_ych/Benzin/Benzin\\_abgas\\_katalitic.htm](http://www.dvfokin.narod.ru/auto_ych/Benzin/Benzin_abgas_katalitic.htm) (accessed 17 February 2014).
3. *GOST R 41.96-2011. Edinoobraznye predpisaniya, kasayushchiesya dvigateley s vosplamene- niem ot szhatiya, prednaznachennykh dlya ustanovki na selskokhozyaystvennykh i lesnykh traktorakh i vnedorozhnoy tekhnike, v otnoshenii vybrosov vrednykh veshchestv etimi dvigatelyami* [State Standard R 41.96-2011. The uniform instructions, concerning engines with ignition from the compression, intended for installation on agricultural both wood tractors and the off-road technics, concerning emission of harmful substances by these engines. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 64 p.

*Received 4 March 2014*