

Научная статья

УДК 621.436.068; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-198-209

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

✉ Мельберт Алла Александровна;

Машенская Екатерина Александровна.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул,
Россия✉ aamelbert@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности автотракторной техники путем снижения токсичности отработавших газов дизеля за счет охлаждения наддувочного воздуха после турбокомпрессора и применения каталитической очистки в нейтрализаторе конструкции Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. По результатам испытаний по 13-режимному испытательному циклу на дизеле 6ЧН15/18, обнаружено, что при снижении температуры наддувочного воздуха с 423 до 303 К на режиме полной мощности, хотя выбросы и превышают допустимые значения по нормам ЕВРО и России, но наблюдается уменьшение оценочных показателей по выбросам оксидов азота с 2,26 до 1,45 раза для ЕВРО-3 и с 2,26 до 1,21 – для России, по твердым частицам оценочные показатели уменьшились с 1,4 до 1,1 раза. Поэтому охлаждение наддувочного воздуха следует рассматривать как эффективное средство воздействия на рабочий процесс. Наблюдалось снижение техногенной нагрузки на окружающую среду в 1,39 раза. При установке в систему выпуска каталитического нейтрализатора появляются реальные перспективы выполнения норм ЕВРО-3, ЕВРО-4 и России по нормируемым компонентам. Оценочные показатели по оксидам азота – снизились на 47 %; по оксиду углерода – на 79 %; по углеводородам – на 57 %; по твердым частицам – более чем в три раза. Техногенная нагрузка при установке каталитического нейтрализатора уменьшилась в 1,98 раза. Экспериментально подтверждено, что охлаждение наддувочного воздуха после турбокомпрессора может приводить к снижению выбросов NO_x через воздействие на рабочий процесс, сократить техногенную нагрузку на окружающую среду от вредных веществ 1,39 раз и рекомендуется к использованию для выполнения норм ЕВРО и России в перспективе. Применение каталитического нейтрализатора в системе выпуска отработавших газов позволило снизить техногенную нагрузку от вредных выбросов на окружающую среду в 1,98 раза. Необходимо применение комплексных мероприятий, например, применение охлаждения наддувочного воздуха и каталитической очистки отработавших газов.

Ключевые слова: вредные выбросы, охлаждение, наддувочный воздух, дизельный двигатель, отработавшие газы, каталитический, нейтрализатор

Для цитирования: Мельберт А.А., Машенская Е.А. Совершенствование экологических показателей дизельных двигателей автотракторной техники // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 198–209. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-198-209

Scientific article

IMPROVING THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF DIESEL ENGINES IN TRACTOR VEHICLES

✉ Melbert Alla A.;

Mashenskaya Ekaterina A.

Polzunov Altai state technical university, Barnaul, Russia

✉ aamelbert@mail.ru

Abstract. The article discusses the issues of ensuring the environmental safety of motor vehicles by reducing the toxicity of diesel exhaust gases through cooling the charge air (CA) after the turbocharger and using catalytic cleaning in the neutralizer designed by Polzunov Altai state technical university. According to the test results for the 13-mode test cycle on a 6HH 15/18 diesel engine, it was found that when the charge air temperature is reduced from 423 to 303 K at full power, although the emissions exceed the permissible values according to EURO and Russian standards, there is a decrease in nitrogen oxide emission rates by a factor of 2,26 to 1,45 for EURO-3 and from 2,26 to 1,21 for Russia, while solid particle emission rates decreased by a factor of 1,4 to 1,1. Therefore, charge CA should be considered as an effective means of influencing the working process. A decrease in the technogenic load on the environment by a factor of 1,39 was observed. When a catalytic converter is installed in the exhaust system, real prospects emerge for meeting EURO-3, EURO-4, and Russian standards for regulated components. Emission indicators for nitrogen oxides decreased by 47%; for carbon monoxide – by 79 %; for hydrocarbons – by 57 %; for particulate matter – by more than three times. The technogenic load when installing the catalytic converter decreased by a factor of 1,98. Conclusions. It has been experimentally confirmed that CA after the turbocharger can reduce NO_x emissions through its impact on the working process, reduce the technogenic load from harmful substances by a factor of 1,39, and is recommended for meeting EURO and Russian standards in the future. The use of a catalytic converter in the exhaust gas system has reduced the technogenic load from harmful emissions by a factor of 1,98. The application of comprehensive measures, such as charge CAr cooling and catalytic exhaust gas cleaning, is necessary.

Keywords: harmful emissions, cooling, supercharged air, diesel engine, exhaust gases, catalytic converter

For citation: Melbert A.A., Mashenskaya E.A. Improving the environmental performance of diesel engines in tractor vehicles // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 198–209. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-198-209

Введение. Состояние проблемы

Проблема снижения вредных выбросов дизельных двигателей приобретает все большую значимость в современных условиях из-за все ужесточающихся требований стандартов к экологической безопасности и комфортности, предъявляемых к автотракторной технике [1–3]. Целым рядом производителей дизелей не достигнуто соответствие уровней вредных выбросов стандартам ЕВРО-4, ЕВРО-5 и ЕВРО-6 [2, 4]. Согласно экспериментальным данным на режимах полной нагрузки концентрация вредных веществ в отработавших газах дизельных двигателей варьируется в широких пределах. Так, удельные выбросы оксидов азота (NO_x) составляют от 10 до 30 г/(кВт·ч), оксида углерода (CO) – от 1,5 до 12 г/(кВт·ч), оксидов серы (SO_x) – от 0,4 до 2,5 г/(кВт·ч). Суммарные углеводороды (C_xH_y) находятся в интервале 1,5–8,0 г/(кВт·ч), альдегиды – 0,06–0,2 г/(кВт·ч), а бенз(а)пирен – 1·10⁻⁶–2·10⁻⁶ г/(кВт·ч). Выбросы твердых частиц (ТЧ) достигают 0,25–2,00 г/(кВт·ч). Указанные уровни эмиссии обуславливают повышенную техногенную нагрузку на окружающую среду [5, 6].

Вопросы снижения экологической нагрузки от поршневых двигателей нашли отражение в исследованиях как отечественных, так и зарубежных авторов, включая В.Н. Луканина, В.Ф. Кутенева, В.А. Звонова, Н.А. Иващенко, Л.А. Новикова, Д.О. Онищенко, Н.Н. Патрахальцева, В.Ф. Фомина, И.В. Кузнецова, Р.В. Малова, В.И. Панчишного, а также К.С. Taylor, J.B. Heywood, J.A. Dumesic, N.Yu. Topsøe, G.C. Koltakis, G.N. Pontikakis, D.L. Chatterjee и др. [6–11].

В настоящее время достижение требований нормативных документов ЕВРО-4, ЕВРО-5 и ЕВРО-6 не представляется возможным с помощью отдельных технических решений [3, 5, 12, 13]. Обобщение опыта, накопленного в области совершенствования дизельных двигателей с целью сокращения выбросов вредных веществ при одновременном улучшении топливной эффективности, показывает, что в обозримой перспективе конкурентоспособность сохраняют как атмосферные дизели, так и агрегаты с газотурбинным наддувом [14, 15]. Наряду с ужесточением нормативов наблюдается и смещение акцентов в системе приоритетных требований к дизельным двигателям [3, 14]. Если в 1990-х гг. для автомобильных дизелей основными критериями выступали динамические качества, расход топлива, его доступность, токсичность отработавших газов и технологичность производства, то современная иерархия приоритетов смещена в сторону ресурсосбережения, экологических показателей, экономичности, динамики и производственных возможностей [10, 14, 15].

Обеспечение выполнения требований стандартов – актуальная проблема, решение которой не должно приводить к снижению топливной экономичности дизелей [3, 5, 14]. Проведенный анализ отечественных и зарубежных разработок показал, что основные направления в решении проблемы снижения вредных выбросов с отработавшими газами дизелей сводятся к следующим:

- совершенствование рабочих процессов дизелей;
- применение малотоксичных регулировок топливной аппаратуры и систем дизелей;
- использование газотурбинного наддува с охлаждением наддувочного воздуха (ОНВ);
- управление составом топлив и применение специальных присадок в них;
- применение каталитической очистки отработавших газов [9, 16–19].

Эффективность снижения токсичности отработавших газов дизеля за счет ОНВ после турбокомпрессора подтверждена результатами многочисленных исследований. Данный подход характеризуется как экономически целесообразный и технологически эффективный способ увеличения мощностных показателей, уменьшения тепловой напряженности деталей двигателя и сокращения эмиссии оксидов азота при одновременном росте эффективного коэффициента полезного действия на 2–4 %.

Согласно данным компании Cummins Inc. возможный прирост эффективного КПД (η_e) при реализации различных технических решений составляет: применение компаундной турбины – 7 %; повышение энергии впрыска топлива – 2 %; увеличение КПД турбокомпрессора – 5 %; использование теплозащитных покрытий – 3 %; установка преобразователей импульсов перед турбокомпрессором – 2 %. Допускается также комбинирование перечисленных мероприятий с различными способами смесеобразования.

Применение каталитических нейтрализаторов для очистки отработавших газов дизелей описаны в работах Б.А. Адамовича, С.В. Белова и Л.Л. Морозова, И.Л. Варшавского и Р.В. Малова, В.Я. Груданова, Г.С. Дугина, О.И. Жегалина и Н.А. Китросского, Ю.С. Медведева, А.Л. Новоселова, М.О. Османова, В.И. Смайлиса, К.С. Taylor, J.B. Heywood, J.A. Dumesic и др. [6–9, 11–13, 15–20].

Согласно оценкам ведущих специалистов в области дизелестроения, автомобилестроения и тракторостроения выполнение перспективных нормативных требований к выбросам вредных веществ в атмосферу предполагает обязательное применение фильтров ТЧ и каталитических нейтрализаторов отработавших газов. Использование таких устройств обеспечивает снижение содержания продуктов неполного сгорания топлива на 85–90 % [6–8, 13, 16, 18–20].

Цель настоящей работы – повышение уровня экологической безопасности автотракторной техники путем сокращения эмиссии вредных веществ за счет ОНВ после турбокомпрессора и применения каталитической очистки отработавших газов в нейтрализаторах с каталитическими блоками, полученными методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Объекты, методика и результаты исследования

Испытания были проведены в два этапа. На первом этапе испытаний была оценена возможность снижения токсичности отработавших газов дизеля путем ОНВ после турбокомпрессора. Эксперимент заключался в следующем: на установившихся режимах проводился отбор отработавших газов дизеля на анализ их состава и определение дисперсности ТЧ при изменении температуры наддувочного воздуха после турбокомпрессора перед впрыском в цилиндры с 423 до 303 К путем увеличения потока охлаждающей воды в теплообменники типа «воздух – вода». Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с 13-режимным испытательным циклом на дизельном двигателе 6ЧН15/18, имеющем следующие основные характеристики: номинальная мощность – 250 кВт при частоте вращения коленчатого вала 1900 мин⁻¹, удельный эффективный расход топлива – 220 г/(кВт·ч), угар масла – 0,29 % от расхода топлива. В качестве топлива использовался продукт марки Л-0,2-40 по ГОСТ 305–2013 «Топливо дизельное. Технические условия», смазочный материал – масло МТ-16П, предназначенное для автомобильной техники.

Условия проведения испытаний характеризовались следующими параметрами: температура воздуха в боксе 295–297 К, атмосферное давление 750–752 мм рт. ст., относительная влажность 76–80 %.

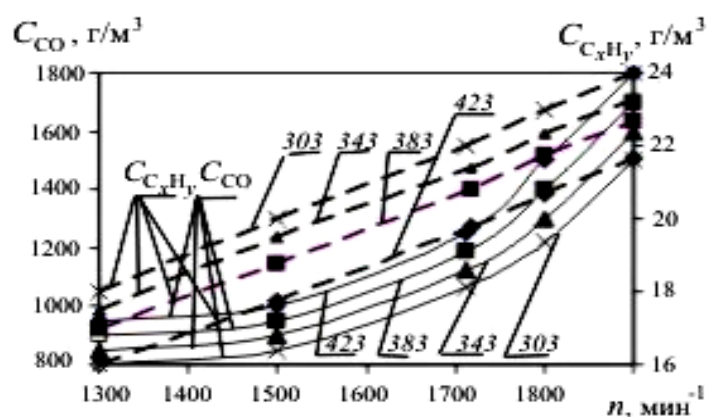
На втором этапе были проведены испытания каталитического нейтрализатора конструкции Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. (АлтГТУ) по патенту МПКF01N3/28 № 2854468 С1 и оценка эффективности очистки отработавших газов. Эксперимент проводился при следующих параметрах внешней среды: температура воздуха в боксе поддерживалась в диапазоне 296–303 К, атмосферное давление соответствовало интервалу 748–750 мм рт. ст., относительная влажность варьировалась в пределах 72–74 %. При испытаниях на установившихся режимах проводили отбор отработавших газов, анализ их состава и определялась дисперсность ТЧ при пропускании газов через каталитический нейтрализатор (КН).

Результаты и их обсуждение

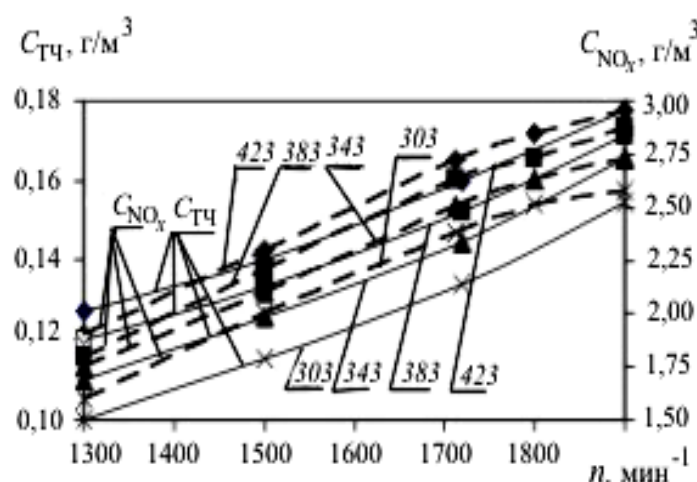
В результате оценки возможности снижения токсичности отработавших газов дизеля путем ОНВ после турбокомпрессора было обнаружено, что снижение температуры наддувочного воздуха при давлении наддува $P_k = 0,223$ МПа значительно влияет на уровни вредных выбросов, что объясняется увеличением коэффициента наполнения η_v . Так, при $n=1900$ мин⁻¹ и $N_e = 250$ кВт $\eta_v = 0,88$ ($P_k = 0,23$ МПа). Это сопровождается снижением уровней выбросов NO_x и C_xH_y (рис. 1).

Изменение выбросов СО при ОНВ объясняется увеличением полноты сгорания при увеличении коэффициента избытка воздуха α . Выбросы C_xH_y увеличиваются при более интенсивном ОНВ, на взгляд авторов, вследствие трехмерного охлаждения пристеночных зон при наполнении цилиндров холодным воздухом и появлении зон у стенок с пониженными температурами (рис. 1 а).

Изменения характера выбросов NO_x (рис. 1 б) можно объяснить тем, что температура газов в цилиндре снижается и условие для окисления азота ухудшаются. При одинаковых параметрах впрыска топлива ухудшаются условия его испарения, а период задержки воспламенения возрастает.



а)



б)

Рис. 1. Влияние температуры наддувочного воздуха на уровни вредных выбросов с дизеля 6ЧН15/18 по внешней скоростной характеристике

В целях определения возможности применения фильтров ТЧ в выпускной системе проведен анализ дисперсного состава ТЧ в зависимости от изменения температуры наддувочного воздуха. Результаты оценки обработки фильтров, полученные с помощью дымометра Bosch, представлены на графиках рис. 2 и показывают, что глубокое охлаждение T_K приводит к увеличению дисперсности ТЧ.

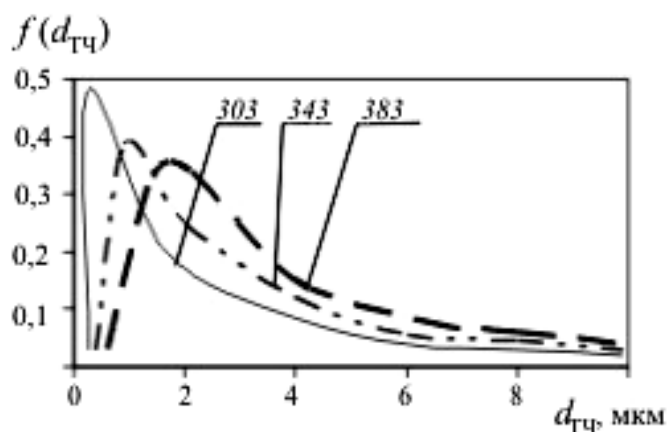


Рис. 2. Дисперсность ТЧ при изменении температуры наддувочного воздуха

Установлено, что усиление интенсивности ОНВ способствует существенному сокращению эмиссии ТЧ с отработавшими газами.

Происходит это вследствие снижения интенсивности процессов крекинга капель топлива и увеличения скорости выгорания ТЧ.

Влияние газотурбинного наддува и ОНВ на выбросы ТЧ показано на графиках рис. 3 и 4.

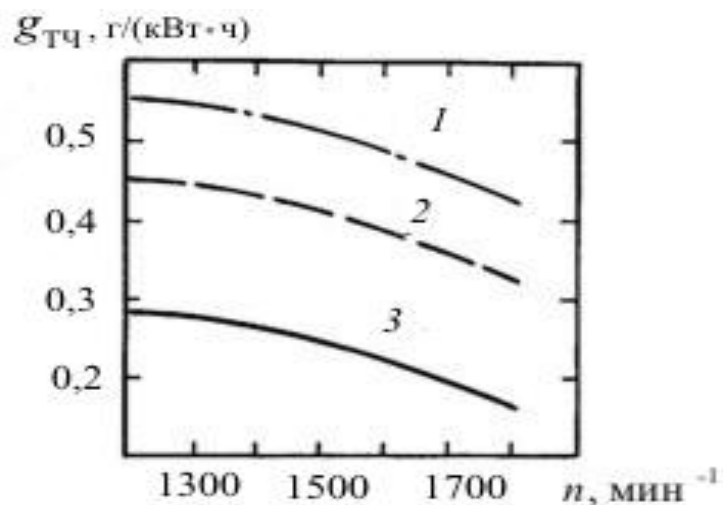


Рис. 3. Зависимость выбросов ТЧ от частоты вращения коленчатого вала при работе дизеля по внешней скоростной характеристике: 1 – без наддува; 2 – с газотурбинным наддувом (ГТН); 3 – с ГТН и ОНВ

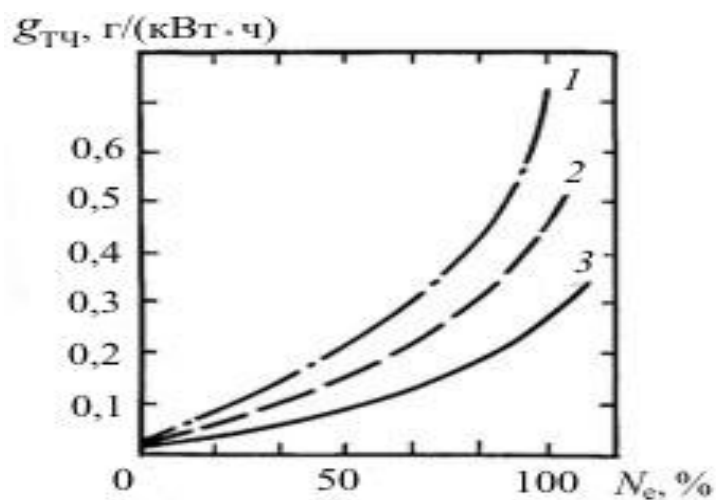


Рис. 4. Зависимость выбросов ТЧ от нагрузки при частоте вращения коленчатого вала 1 900 мин⁻¹: 1 – без наддува; 2 – с ГТН; 3 – с ГТН и ОНВ

В табл. 1 представлены полученные оценочные показатели и степень их превышения по стандартам ЕВРО и России при изменении температуры наддувочного воздуха после компрессора (T_k).

Таблица 1

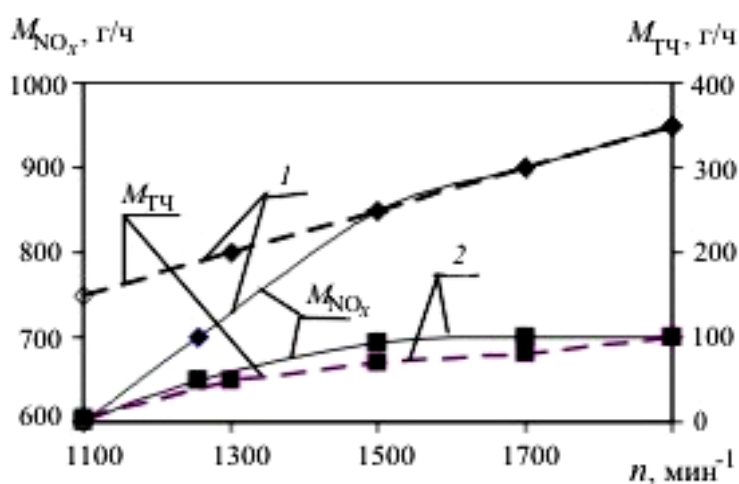
Влияние ОНВ на удельные выбросы вредных веществ

Вещество	Удельные выбросы вредных веществ, г/(кВт·ч)								
	Фактические значения при T_k , К,				Норматив / превышение (+) или снижение (–) относительно норматива при $T_k = 303$ К				
	423	383	343	303	ЕВРО-3	ЕВРО-4	ЕВРО-5	ЕВРО-6	для России (с 2021 г.)
ТЧ	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10 / +10 %	0,02 / +450 %	0,02 / +450 %	0,01 / +1 000 %	0,10 / +10 %
C_xH_y	1,70	1,95	2,04	2,40	0,60 / +300 %	0,46 / +422 %	0,25 / +860 %	0,13 / +1 746 %	0,40 / +500 %
СО	10,5	8,82	7,52	6,11	2,00 / +206 %	1,50 / +307 %	1,50 / +307 %	1,50 / +307 %	3,50 / +75 %
NO_x	11,3	9,72	8,06	7,26	5,00 / +45 %	3,50 / +107 %	2,00 / +263 %	0,40 / +1 715 %	6,00 / +21 %

Анализ данных табл. 1 показал, что при снижении температуры наддувочного воздуха с 423 до 303 К на режиме полной мощности, хотя выбросы и превышают допустимые значения по нормам ЕВРО и России, но наблюдается уменьшение оценочных показателей по выбросам оксидов азота с 2,26 до 1,45 раза для ЕВРО-3 и с 2,26 до 1,21 – для России, по ТЧ оценочные показатели уменьшились с 1,4 до 1,1 раза. Поэтому ОНВ следует рассматривать как эффективное средство воздействия на рабочий процесс.

При серийной комплектации (температура наддувочного воздуха $T_k = 383$ К) значение техногенной нагрузки на окружающую среду составило 79,63 ут/г. Снижение температуры наддувочного воздуха до $T_k = 303$ К позволило уменьшить данный показатель до 57,22 ут/г, что соответствует сокращению техногенной нагрузки в 1,39 раза.

Результаты экспериментальной оценки влияния установки КН в выпускную систему дизеля 5Д6–192 на уровни вредных выбросов с отработавшими газами, полученные по внешней скоростной характеристике, приведены на рис. 5.



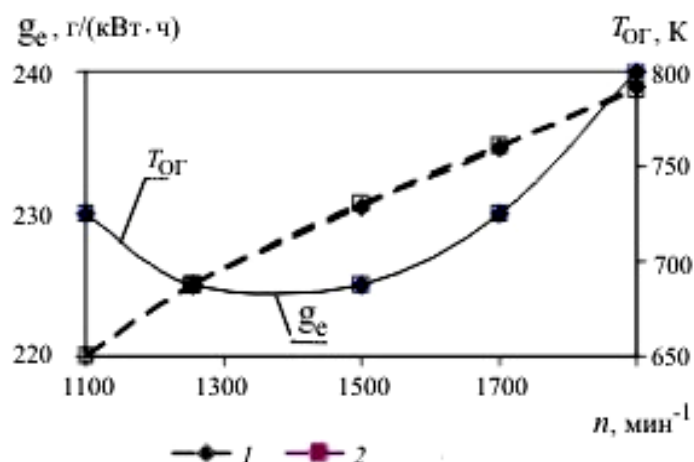


Рис. 5. Влияние установки КН в систему выпуска дизеля 5Д6-192 на уровни вредных выбросов с отработавшими газами по внешней скоростной характеристике:
1 – без нейтрализатора; 2 – с нейтрализатором

С целью определения целесообразности применения фильтров ТЧ в выпускном тракте выполнен анализ дисперсного состава ТЧ. По результатам обработки фильтров, полученных с помощью дымометра Bosch, выявлены распределения ТЧ по фракциям (рис. 6).

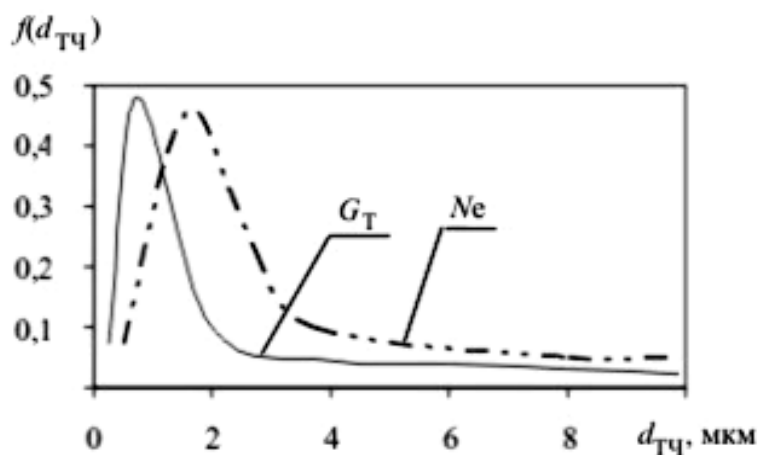


Рис. 6. Дисперсность ТЧ

В табл. 2 приведены данные по оценке эффективности очистки в КН.

Таблица 2

Эффективность очистки отработавших газов в КН

Вещество	Удельные выбросы, г/(кВт·ч)		Норматив / превышение (+) или снижение (–) относительно норматива при установке КН, %				
	без КН	с КН	ЕВРО-3	ЕВРО-4	ЕВРО-5	ЕВРО-6	для России (с 2021 г.)
ТЧ	0,35	0,13	0,10 / +30 %	0,02 / +550 %	0,02 / +550 %	0,01 / +1 200 %	0,10 / +30 %
C _x H _y	0,33	0,12	0,60 / –80 %	0,46 / –74 %	0,25 / –52 %	0,13 / –8 %	0,40 / –70 %
СО	11,90	2,62	2,00 / +31 %	1,50 / +75 %	1,50 / +75 %	1,50 / +75 %	3,50 / –25 %
NO _x	11,13	5,93	5,00 / +19 %	3,50 / +69 %	2,00 / +197 %	0,40 / +1 383 %	6,00 / –1 %

Анализ данных табл. 2 показал, что при установке в систему выпуска КН появляются вполне реальные перспективы выполнения норм ЕВРО-3, ЕВРО-4, России по выбросам оксидов азота, оксида углерода, углеводородов. Обнаружено, что при установке КН в систему выпуска оценочные показатели вредных выбросов изменяются следующим образом: по оксидам азота – снижаются на 47 %; по оксиду углерода – на 79 %; по углеводородам – на 57 %; по ТЧ – более чем в три раза.

Значение техногенной нагрузки при серийной комплектации составило 53,44 ут/г, тогда как при использовании нейтрализатора данный показатель снизился до 26,52 ут/г, что соответствует уменьшению в 1,98 раза.

Заключение

1. ОНВ после ТКР может через воздействие на рабочий процесс приводить к значительному снижению выбросов NO_x , и его следует использовать для выполнения норм ЕВРО и в дальнейшем.

2. ОНВ позволило сократить техногенную нагрузку на окружающую среду от вредных веществ в составе отработавших газов в 1,39 раза.

3. Применение КН в системе выпуска отработавших газов позволило снизить техногенную нагрузку от вредных выбросов на окружающую среду в 1,98 раза.

4. Выполнение норм ЕВРО-4, ЕВРО-5, ЕВРО-6 по выбросам ТЧ будет затруднено без применения специальных систем фильтрации отработавших газов.

5. Необходимо применение комплексных мероприятий по снижению общей техногенной нагрузки на окружающую среду, например, применение ОНВ и каталитической очистки отработавших газов.

Список источников

1. Черноиванов В.И., Колчин А.В., Мехлин В.М. Обеспечение экологической безопасности тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при эксплуатации // Тракторы и с.-х. машины. 2004. № 2. С. 83–89. EDN: RZXIIX.

2. Johnson T. Diesel Emission Control in Review/T/ Johnson // SAEInt J.Fuels Lubr. 2009. № 2 (1). P. 68–81.

3. Стрельников В.А. Разработка и исследование способов снижения токсичности выхлопа дизеля: монография. Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. 352 с. EDN: TIGVAZ.

4. Козлов А.В., Теренченко А.С., Васильев А.В. Анализ экологических требований «ЕВРО-6» к автомобильным дизелям // Журнал автомобильных инженеров. 2017. № 3. С. 40–46. EDN: YQFRRZ.

5. Мельберт А.А., Нгуен Ч.Х., Машенский А.В. Применение топливopодpающей аппаратуры с увеличенным давлением впрыска для снижения техногенной нагрузки на окружающую среду // Тракторы и сельхозмашины. 2022. Т. 89. № 5. С. 325–331. DOI: 10.17816/0321-4443-108145

6. Панчишный В.И. Нейтрализаторы отработавших газов дизелей // Автомобильная промышленность. 2008. № 11. С. 6–8. EDN: JXFCNH.

7. К вопросу повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора / В.А. Соломин [и др.] // Известия МГТУ «МАМИ». 2017. Т. 11. № 1. С. 63. EDN: YZNNHH.

8. Нелидкин А.В., Бoryчев С.Н., Олейник Д.О. Устройство для очистки отработавших газов дизельных двигателей внутреннего сгорания // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 8 (202). С. 92–97. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-202-08-92-97

9. Результаты применения пористых проницаемых СВС-каталитических блоков в многоступенчатых нейтрализаторах отработавших газов дизелей / А.А. Мельберт [и др.] // Известия МГТУ МАМИ. 2022. Т. 16. № 3. С. 201–208. DOI: 10.17816/2074-0530-106160

10. Majewski W. Diesel Oxidation Catalyst [Electronic resource] // DieselNet Technology Guide. 2012.

11. Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars / R. O'Driscoll [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 621. № 15. P. 282–290. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.271
12. Measurement of Gaseous Exhaust Emissions of Light-Duty Vehicles in Preparation for Euro 7: A Comparison of Portable and Laboratory Instrumentation / V. Valverde [et al.] // *Energies* 2023. № 16. P. 2561. DOI: 10.3390/en16062561
13. Яшник С.А. Каталитические системы нейтрализации выбросов автомобилей с дизельным двигателем: современные задачи и технологические решения по улучшению окислительного катализатора // *Катализ в промышленности*. 2022. Т. 22. № 2. P. 25–41. DOI: 10.18412/1816-0387-2022-2-25-41
14. Методы снижения токсичности отработавших газов дизеля / П. Гаврилов [и др.] // *Наука и техника Казахстана*. 2019. № 1. С. 75–83. EDN: ZZDMHJ.
15. Гриценко А.В. Анализ методов диагностирования каталитических нейтрализаторов и разработка эффективных методик их контроля // *Известия Дагестанского ГАУ*. 2025. Т. 2. № 26. С. 230–240. DOI: 10.52671/26867591-2025-2-230
16. Рассел А., Эплинг У.С. Катализаторы окисления дизельного топлива *Cat. Rev.* // *Sci. Eng.* 2011. № 53 (4). P. 337–423. DOI: 10.1080/01614940.2011.596429
17. Бадалян Л.Х., Курдюков В.Н., Алейникова А.М. Теоретические основы системы учета фактических выбросов загрязняющих веществ автотранспортом // *Безопасность жизнедеятельности*. 2013. № 5. С. 31–37. EDN: QAIAGJ.
18. Ерохов В.И., Надарейшвили Г.Г., Блинов А.С. Анализ эффективности использования восстановителя оксидов азота отработавших газов дизелей // *Двигателестроение*. 2022. № 3 (289). С. 48–63. DOI: 10.18698/jec.2022.3.48-63
19. Setten B., Makkee M., Moulijn J. Science and technology of catalytic diesel particulate filters // *Catalyses reviews*. 2001. № 43. P. 489–564. DOI: 10.1081/CR-120001810
20. Measurement and prediction of filtration efficiency evolution of soot loaded diesel particulate filters / P. Tandon [et al.] // *Chemical Engineering Science*. 2010. Vol. 65. № 16. P. 4751–4760. DOI: 10.4271/2012-01-0363

References

1. Chernoi Ivanov V.I., Kolchin A.V., Mekhlina V.M. Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti traktorov i samohodnyh sel'skohozyajstvennyh mashin pri ekspluatatsii // *Traktory i s.-h. mashiny*. 2004. № 2. S. 83–89. EDN: RZXIIX.
2. Johnson T. Diesel Emission Control in Review/T/ Johnson // *SAEInt J.Fuels Lubr.* 2009. № 2 (1). P. 68–81.
3. Strel'nikov V.A. Razrabotka i issledovanie sposobov snizheniya toksichnosti vyhlopa dizelya: monografiya. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. 352 s. EDN: TIGVAZ.
4. Kozlov A.V., Terenchenko A.S., Vasil'ev A.V. Analiz ekologicheskikh trebovanij «EVRO-6» k avtomobil'nyh dizelyam // *Zhurnal avtomobil'nyh inzhenerov*. 2017. № 3. S. 40–46. EDN: YQFRRZ.
5. Mel'bert A.A., Nguen Ch.H., Mashenskij A.V. Primenenie toplivopodayushchej apparatury s uvelichennym davleniem vpryska dlya snizheniya tekhnogennoj nagruzki na okruzhayushchuyu sredu // *Traktory i sel'hozmashiny*. 2022. Т. 89. № 5. S. 325–331. DOI: 10.17816/0321-4443-108145
6. Panchishnyj V.I. Nejtralizatory otrabotavshih gazov dizelej // *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2008. № 11. S. 6–8. EDN: JXFCNH.
7. K voprosu povysheniya effektivnosti raboty kataliticheskogo nejtralizatora / V.A. Solomin [i dr.] // *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2017. Т. 11. № 1. С. 63. EDN: YZNNHH.
8. Nelidkin A.V., Borychev S.N., Olejnik D.O. Ustrojstvo dlya ochistki otrabotavshih gazov dizel'nyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021. № 8 (202). S. 92–97. DOI: 10.53083/1996-4277-2021-202-08-92-97

9. Rezul'taty primeneniya poristyh pronicaemyh SVS-kataliticheskikh blokov v mnogostupenchatykh nejtralizatorah otrabotavshih gazov dizelej / A.A. Mel'bert [i dr.] // Izvestiya MGTU MAMI. 2022. T. 16. № 3. С. 201–208. DOI: 10.17816/2074-0530-106160
10. Majewski W. Diesel Oxidation Catalyst [Electronic resource] // DieselNet Technology Guide. 2012.
11. Real world CO₂ and NO_x emissions from 149 Euro 5 and 6 diesel, gasoline and hybrid passenger cars / R. O'Driscoll [et al.] // Science of The Total Environment. 2018. Vol. 621. № 15. P. 282–290. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.271
12. Measurement of Gaseous Exhaust Emissions of Light-Duty Vehicles in Preparation for Euro 7: A Comparison of Portable and Laboratory Instrumentation / V. Valverde [et al.] // Energies 2023. № 16. P. 2561. DOI: 10.3390/en16062561
13. Yashnik S.A. Kataliticheskie sistemy nejtralizacii vybrosov avtomobilej s dizel'nym dvigatelem: sovremennye zadachi i tekhnologicheskie resheniya po uluchsheniyu okislitel'nogo katalizatora // Kataliz v promyshlennosti. 2022. T. 22. № 2. P. 25–41. DOI: 10.18412/1816-0387-2022-2-25-41
14. Metody snizheniya toksichnosti otrabotavshih gazov dizelya / P. Gavrilov [i dr.] // Nauka i tekhnika Kazakhstana. 2019. № 1. S. 75–83. EDN: ZZDMHJ.
15. Gricenko A.V. Analiz metodov diagnostirovaniya kataliticheskikh nejtralizatorov i razrabotka effektivnykh metodik ih kontrolya // Izvestiya Dagestanskogo GAU. 2025. T. 2. № 26. С. 230–240. DOI: 10.52671/26867591-2025-2-230
16. Rassel A., Epling U.S. Katalizatory okisleniya dizel'nogo topliva Cat. Rev. // Sci. Eng. 2011. № 53 (4). P. 337–423. DOI: 10.1080/01614940.2011.596429
17. Badalyan L.H., Kurdyukov V.N., Alejnikova A.M. Teoreticheskie osnovy sistemy ucheta fakticheskikh vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv avtotransportom // Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2013. № 5. S. 31–37. EDN: QAIAGJ.
18. Erohov V.I., Nadarejshvili G.G., Blinov A.S. Analiz effektivnosti ispol'zovaniya vosstanovitelya oksidov azota otrabotavshih gazov dizelej // Dvigatelsestroenie. 2022. № 3 (289). S. 48–63. DOI: 10.18698/jec.2022.3.48-63
19. Setten V., Makkee M., Moulijn J. Science and technology of catalytic diesel particulate filters // Catalyses reviews. 2001. № 43. P. 489–564. DOI: 10.1081/CR-120001810
20. Measurement and prediction of filtration efficiency evolution of soot loaded diesel particulate filters / P. Tandon [et al.] // Chemical Engineering Science. 2010. Vol. 65. № 16. P. 4751–4760. DOI: 10.4271/2012-01-0363

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 31.03.2026; одобрена после рецензирования: 27.04.2026;
принята к публикации: 07.05.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 31.03.2026; approved after review: 27.04.2026;
accepted for publication: 07.05.2026

Сведения об авторах:

Мельберг Алла Александровна, профессор кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46), доктор технических наук, профессор, e-mail: aamelbert@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3973-8315>, SPIN-код: 5949-5831

Машенская Екатерина Александровна, ведущий инженер по эксплуатации, ассистент кафедры «Безопасность жизнедеятельности» Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова (656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46), e-mail: suzuki468@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3122-0412>, SPIN-код: 8323-5725

Information about the authors:

Melbert Alla A., professor of department of life safety of Polzunov Altai state technical university (656038, Barnaul, Leninaave, 46), doctor of technical sciences, professor, e-mail: aamelbert@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-3973-8315>, SPIN: 5949-5831

Mashenskaya Ekaterina A., leading operations engineer, assistant, of department of life safety of Polzunov Altai state technical university (656038, Barnaul, Leninaave, 46), e-mail: suzuki468@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3122-0412>, SPIN: 8323-5725