

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСА ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДВС ЗА СЧЕТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА

д.т.н. Кукис В.С.¹, к.т.н. Омельченко Е.А.²

¹Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия

²Омский автобронетанковый инженерный институт, Омск, Россия
idem74@mail.ru

Предметом рассмотрения в статье явилась оценка возможности снижения выброса твердых частиц с отработавшими газами поршневых двигателей внутреннего сгорания, что обусловлено активизацией деятельности по уменьшению их вредного воздействия на окружающую среду и на организм человека. Целью выполненной работы являлась оценка возможности повышения эффективности снижения выбросов твердых частиц с отработавшими газами дизелей за счет возможной стабилизации температуры их отработавших газов перед каталитическим нейтрализатором. Объектом исследования служили выбросы твердых частиц с отработавшими газами дизеля 4ЧН13/15. Эксперименты проводились с каталитическим нейтрализатором типа «КНД-Рила». Для уменьшения колебаний температуры поступающих в него отработавших газов при работе дизеля на различных режимах авторами был создан теплообменник кожухо-трубного типа с теплоаккумулирующим веществом – гидроксидом лития. Для определения содержания твердых частиц был использован гравиметрический метод. Испытательный комплекс включал в себя разбавительный туннель МТ-120, разработанный институтом TUV-UVMV (Чехия), систему пробоотбора на нагрузочном стенде, весы Mettler Toledo AX26DR для взвешивания фильтров (в климатической камере на виброизолирующем фундаменте, имеющие точность – 2 мкг) и фильтры – Pall Flex. Исследование проводилось при работе дизеля по испытательным циклам для двигателей с изменяющейся частотой вращения по Правилу ЕЭК ООН № 96-02. Методика оценки влияния стабилизации температуры отработавших газов на эффективность работы каталитического нейтрализатора в отношении выброса твердых частиц заключалась в определении усредненной степени превращения твердых частиц в нейтрализаторе за испытательный цикл. Результаты испытаний показали, что стабилизация температуры отработавших газов перед каталитическим нейтрализатором обеспечила относительное улучшение степени превращения твердых частиц на 56,7 %.

Ключевые слова: дизель, отработавшие газы, твердые частицы, стабилизация температуры, каталитический нейтрализатор, гравиметрический метод, степень превращения твердых частиц в нейтрализаторе.

Введение

Одним из основных направлений повышения технического уровня поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в настоящее время является снижение выбросов токсичных компонентов с отработавшими газами (ОГ). Это обусловлено как с активизацией деятельности по сохранению динамического равновесия биосферы нашей планеты, так и с новыми данными о влиянии токсичных выбросов на организм человека и окружающую среду (ОС), значительным увеличением выпуска транспортных средств с поршневыми ДВС.

В первую очередь сказанное относится к дизелям, работа которых в плане воздействия на ОС среди прочего сопровождается выбросом в атмосферу твердых частиц (РМ), являющихся смесью сажи, несгоревших углеводородов, сульфатов и других включений. Способность полициклических углеводородов, вследствие их физических свойств и величин молекул, адсорбироваться на саже, несмотря на то, что в количественном соотношении доля этих примесей очень мала, существенно повышает экологическую опасность для организма человека выбрасываемых с ОГ частиц. Помимо этого,

твердые частицы в совокупности с другими вредными веществами вызывают загрязнение сооружений и почвы, коррозию и эрозию материалов. Все это указывает на необходимость принимать меры по снижению их отрицательного влияния на окружающую среду.

Целью проведенной научной работы являлась оценка возможности повышения эффективности снижения выбросов твердых частиц с ОГ за счет возможной стабилизации их температуры перед каталитическим нейтрализатором (КН).

Методы и средства проведения исследований

Объектом исследования служили выбросы РМ с ОГ дизеля 4ЧН13/15, установленного на испытательном стенде (рис. 1). Двигатель жидкостного охлаждения мощностью 118 кВт (160 л.с.) является представителем модельного ряда двигателей серии «Т», разрабатываемых в ООО «ЧТЗ-Уралтрак» для комплектации тракторов и другой техники.

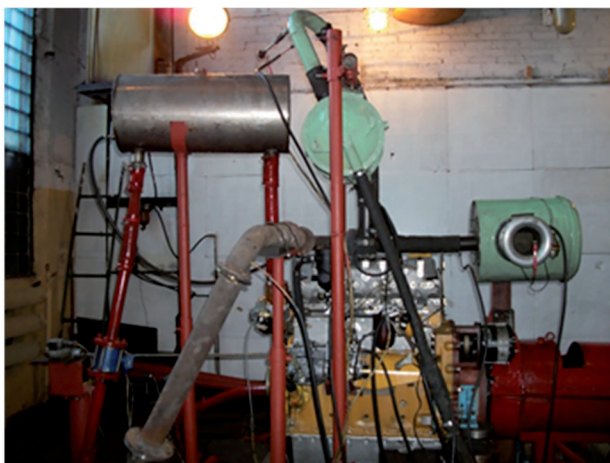


Рис. 1. Дизель 4ЧН13/15 на стенде

Эксперименты проводились с КН типа «КНД-Рила» (рис. 2), который предназначен для снижения концентрации вредных компонентов ОГ дизелей и может устанавливаться на любые транспортные средства, дорожно-строительное оборудование или на дизель-генераторы.

Рабочим веществом нейтрализатора «КНД-Рила» является катализатор типа «РИЛА», который представляет собой нанесенные на гранулированный носитель (оксид алюминия) металлы и окиси металлов. Не содержит драгоценных металлов (золото, платина). Катализатор нечувствителен к каталитическим ядам, включая диоксид серы, что позволяет

использовать стандартное, а не специальное дизельное топливо с низким (менее 50 ppm) содержанием серы. Нейтрализатор предназначен для обезвреживания основных вредных компонентов ОГ – твердых частиц и оксидов азота. Катализатор не является фильтром для снижения дымности, а действует как химически активный катализатор, который дожигает органические вещества и самую вредную часть ОГ, в которой содержатся тяжелые нефтяные фракции с высокой канцерогенностью.

Катализатор начинает действовать при температуре ОГ выше 220 °С и устойчиво работает при температуре газов выше 280 °С.

Известно, что эффективность нейтрализации ОГ, проходящих через КН, существенно зависит от их температуры. При этом наиболее эффективно преобразования происходят в диапазоне температур от 400 до 800 °С [1].

Для уменьшения колебаний температуры ОГ, поступающих в КН на различных режимах работы двигателя, и поддержания ее в благоприятном для работы нейтрализатора диапазо-



не авторами был создан теплообменник кожухотрубного типа (стабилизатор температуры отработавших газов), принципиальное устройство которого показано на рисунке 3, а техническая характеристика приведена в таблице.



Рис. 2. Нейтрализатор отработавших газов типа «КНД-Рила»

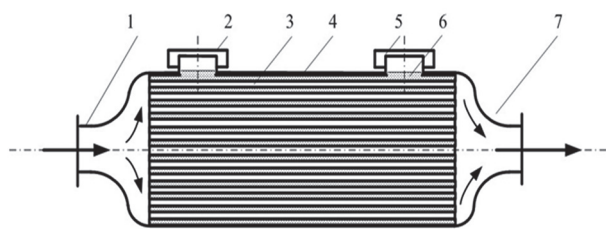


Рис. 3. Устройство, предназначенное для стабилизации температуры отработавших газов [2]:

- 1, 7 – впускной и выпускной патрубки;
2, 5 – тепловые компенсаторы с крышками;
3 – трубки; 4 – корпус; 6 – теплоаккумулирующее вещество

Корпус стабилизатора температуры ОГ выполнен из нержавеющей стали 12Х17Т, во внутренней полости которой расположены теплообменные трубки. В верхней части корпуса имеются две заправочные пробки, совмещенные с компенсаторами теплового расширения теплоаккумулирующего вещества и входом термопар.

С целью снижения пожароопасности и потерь теплоты с наружной поверхности стабилизатор температуры ОГ его корпус был закрыт асбестовой теплоизоляцией (на рис. 3 не показана).

Как видно из таблицы, в качестве теплоаккумулирующего вещества был использован гидроксид лития, основные свойства которого приведены ниже:

- температура плавления – 744 К;
- теплота фазового перехода – 1080, кДж/кг;
- удельная массовая теплоемкость:
твердой фазы – 2,88, кДж/(кг К);
жидкой фазы – 3,65, кДж/(кг К);
- плотность:
твердой фазы – 1460, кг/м³;
жидкой фазы – 1490, кг/м³;
- коэффициент теплопроводности:
твердой фазы – 2,46, кг/ Вт/(м К);
жидкой фазы – 1,35, кг/ Вт/(м К).

Гидроксид лития был выбран потому, что он прежде всего имеет практически оптимальную температуру фазового перехода с точки зрения возможности стабилизации температуры ОГ на оптимальном уровне для обеспечения эффективной работы КН. Кроме этого, он характеризуется весьма значительной теплотой фазового перехода, достаточно близкими величинами плотности в твердом и жидком состояниях. Последнее свойство облегчает разработку конструкции стабилизатора температуры ОГ, так как не требует создания объемных дополнительных расширительных полостей. Достаточно высокая теплопроводность и теплоемкость являются дополнительными доводами в пользу выбора гидрата лития.

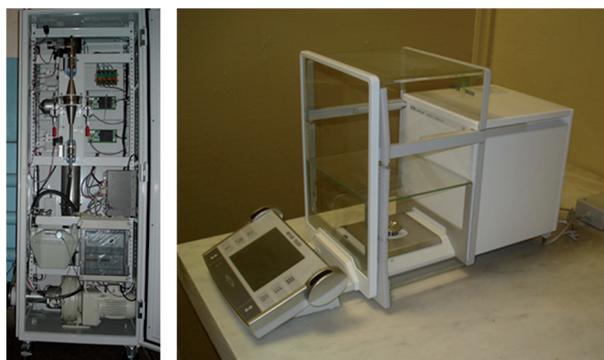
Для определения содержания твердых частиц в ОГ использовался гравиметрический метод. Суть метода заключается в пропускании разбавленных в определенной пропорции отработавших газов через стекловолокнистый фильтр с фторуглеродным покрытием или фильтр с фторуглеродной основой мембранного типа, который взвешивается до и после эксперимента. Фильтр должен иметь покрытие диоктилфтолат толщиной 0,3 мм, степень улавливания не менее 95 % при скорости потока газа от 35 до 80 см/с.

Испытательный комплекс для определения выбросов твердых частиц с ОГ дизелей различных типов включает в себя [4] разбавительный туннель MT-120 разработанный институтом TUV-UVMV (Чехия) (рис. 4, а), систему пробоотбора на нагрузочном стенде, весы Mettler Toledo AX26DR для взвешивания фильтров (в климатической камере на виброизолирующем фундаменте, имеющие точность – 2 мкг) (рис. 4, б), фильтры – Pall Flex.

Таблица 1

Техническая характеристика стабилизатора температуры отработавших газов

Наименование	Характеристика
Тип СТОГ	Кожухо-трубный
Площадь поверхности теплообмена, м ²	1,48
Газодинамическое сопротивление при продувке воздухом с температурой 25±10 °С при расходе 570±10 м ³ /ч, кПа	Не более 2,4
Количество трубок в кассете	235
Теплоаккумулирующее вещество	LiOH
Масса стабилизатора температуры ОГ/ТАВ, кг	10/4,5



а

б

Рис. 4. Система для измерения выбросов твердых частиц:

а – туннель MT-120, б – весы «Mettler Toledo» для взвешивания фильтров (в климатической камере на виброизолирующем фундаменте)

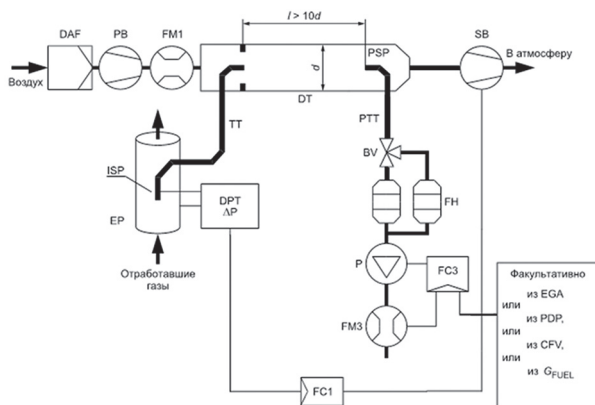


Рис. 5. Схема системы отбора проб с разбавлением потока изокINETическим пробоотборником и частичным отбором проб:

EP – выпускная труба, DT – туннель для разбавления, ISP – изокINETический пробоотборник, TT – подводящий патрубков, DPT – датчик давления, FC1 – регулятор расхода, PB – нагнетательный насос, DAF – воздушный фильтр, FM1 – расходомер воздуха, PSP – пробоотборник, PTT – патрубков, SB – вытяжной насос, BV – шаровый затвор, FH – фильтродержатель, FC3 – регулятор, P – насос для перекачки пробы, FM3 – расходомер

Общая схема комплекса приведена на рис. 5. Пробоотборник является изокINETической системой, в которой скорость и давление потока в отводящем патрубке должны совпадать с соответствующими параметрами основного потока ОГ. Для этого требуется обеспечить наличие невозмущенного и однородного потока у входа в пробоотборник, что достигается использованием у входа резонатора и трубы с прямым участком. Условие равенства скоростей и дав-

лений обеспечивается регулятором расхода FC1, который считывает сигнал датчика давления DPT и управляет вытяжным насосом SB. Коэффициент разделения потока пропорционален отношению площадей поперечных сечений труб EP и ISP. Разбавляющий воздух проходит через фильтр DAF, его температура поддерживается в диапазоне 25 ± 5 °C. Температура стенок туннеля DT не должна превышать 52 °C, для обеспечения этого условия использована система терморегулирования с микропроцессорным управлением.

Система отбора проб необходима для осаждения на фильтре для отбора вредных частиц. Расход пробы контролируется регулятором FC3, работа которого аналогична регулятору FC1.

Испытательный комплекс управляется с помощью компьютера, на котором установлено специальное программное обеспечение для автоматического управления, обработки сигналов датчиков и вывода на дисплей промежуточных результатов испытаний.

Обработка результатов испытаний проводилась в соответствии с ГОСТ 18509-88 [5].

Исследование проводилось при работе дизеля по испытательным циклам для двигателей с изменяющейся частотой вращения по Правилу ЕЭК ООН № 96-02.

Методика оценки влияния стабилизации температуры ОГ на эффективность работы КН в отношении выброса твердых частиц с ОГ заключалась в определении усредненной степени превращения твердых частиц за испытательный цикл:

$$\Delta \bar{C}_{\text{PM}} = \frac{C_{\text{PM}}^{\text{н}} - C_{\text{PM}}^{\text{п}}}{C_{\text{PM}}^{\text{н}}},$$

где $C_{\text{PM}}^{\text{н}}$ и $C_{\text{PM}}^{\text{п}}$ – концентрации РМ в ОГ двигателя перед и после КН.

Обсуждение результатов

На рис. 6 представлены значения усредненной степени превращения твердых частиц в ОГ при работе дизеля 4ЧН13/15 при работе по испытательному циклу в соответствии с Правилу ЕЭК ООН № 96-02.

Как видно, стабилизация температуры ОГ перед КН обеспечила относительное улучшение степени превращения твердых частиц на 56,7 %.

Причиной полученного эффекта послужило заметное сокращение диапазона колебаний

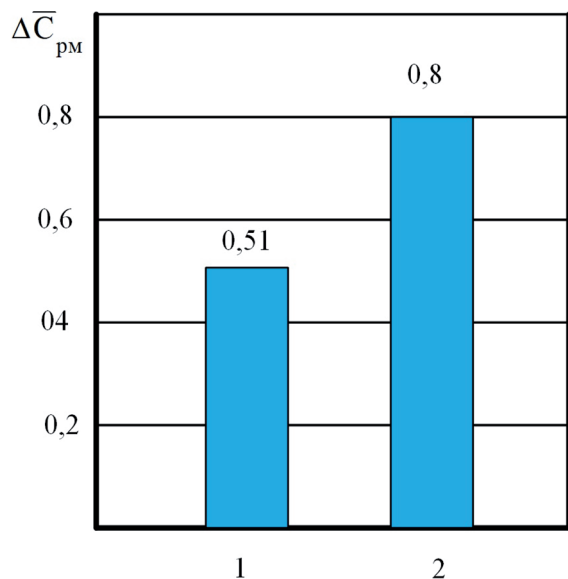


Рис. 6. Значения степеней превращения твердых частиц в отработавших газах дизеля 4ЧН13/15 при работе по испытательному циклу в соответствии с Правилем ЕЭК ООН № 96-02:
1 – без стабилизатора температуры отработавших газов перед каталитическим нейтрализатором;
2 – со стабилизатором температуры отработавших газов перед каталитическим нейтрализатором

температуры ОГ в КН (на выходе из него минимальная температура, зафиксированная в испытательном цикле, увеличилась со 188 до 297 °С, а максимальная снизилась с 631 до 577 °С).

Заключение

Представленные результаты убедительно свидетельствуют о целесообразности применения стабилизатора температуры ОГ в комплексе с КН с целью снижения выбросов твердых частиц.

Литература

1. Мельберт А.А., Павлюк А.С. Оценка эффективности нейтрализации отработавших газов дизелей // Исследование и совершенствование быстроходных дизелей: Межвузовский сб. научн. трудов. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1997. С. 5–8.
2. Кукис В.С., Султанов Т.Ф. Снижение вредных выбросов транспортными средствами путем повышения эффективности работы каталитического

нейтрализатора // Новые топлива с присадками: Материалы IV Международной научно-практической конференции. С-Пб.: Академия прикладных исследований, 2006. С. 74–78.

3. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.В. Краткий справочник по химии. Киев, Наукова думка, 1987. 833 с.
4. Омельченко Е.А. Использование вихревой трубы для повышения экологической безопасности поршневых двигателей внутреннего сгорания: дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2016. 172 с.
5. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1988. 127 с.

References

1. Mel'bert A.A., Pavlyuk A.S. Evaluation of the efficiency of neutralization of exhaust gases of diesel engines. *Issledovanie i sovershenstv, bystrohodnyh dizelej: Mezhvuzovskij sb. nauchn. trudov* [Research and excellence, high-speed diesel engines: Interuniversity collection of scientific works]. Barnaul: Izd-vo AltGTU Publ., 1997, pp. 5–8 (in Russ.).
2. Kukis V.S., Sultanov T.F. Reducing harmful emissions from vehicles by improving the efficiency of the catalytic converter. *Novye topliva s prisadkami: Materialy IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [New fuels with additives: Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference]. S-Pb.: Akademiya prikladnyh issledovanij Publ., 2006, pp. 74–78 (in Russ.).
3. Goronovskij I.T., Nazarenko YU.P., Nekryach E.V. *Kratkij spravochnik po himii* [Chemistry quick reference]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1987. 833 p.
4. Omel'chenko E.A. *Ispol'zovanie vikhrevoj trubyy dlya povysheniya ehkologicheskoy bezopasnosti porshnevnyh dvigatelej vnutrennego sgoraniya*: dis. ... kand. tekhn. nauk [The use of a vortex tube to improve the environmental safety of piston internal combustion engines: dissertation for Degree of Candidate of Technical Sciences]. CHelyabinsk, 2016. 172 p.
5. *GOST 18509-88. Dizeli traktornye i kombajnovye. Metody stendovyh ispytaniy* [Tractor and combine diesel engines. Bench test methods]. Moscow: Izd-vo standartov Publ., 1988. 127 p.

REDUCING THE EMISSION OF SOLID PARTICLES FROM THE EXHAUST GASES OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY INCREASING THE EFFICIENCY OF THE CATALYTIC CONVERTER

DSc in Engineering **V.S. Kukis**¹, Ph.D. **E.A. Omel'chenko**²

¹South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

²Omsk Automobile Armored Engineering Institute, Omsk, Russia
idem74@mail.ru

The subject of consideration in the article was the assessment of the possibility of reducing the emission of solid particles from the exhaust gases of reciprocating internal combustion engines, which is needed to intensify the activities to reduce their harmful effects on the environment and on the human body. The aim of the work was to assess the possibility of increasing the efficiency of reducing emissions of solid particles with diesel exhaust gases due to the possible stabilization of the temperature of their exhaust gases in front of the catalytic converter. The object of the study was the emissions of solid particles with exhaust gases of diesel engine 4ChN13/15. The experiments were carried out with a KND-Rila type catalytic converter. To reduce the temperature fluctuations of the exhaust gases entering it when the diesel engine is operating in various modes, the authors have created a shell-and-tube type heat exchanger with a heat storage substance – lithium hydroxide. A gravimetric method was used to determine the solids content. The test complex included the MT-120 dilution tunnel developed by the TUV-UVMV institute (Czech Republic), the sampling system on a loading test bench, the Mettler Toledo AX26DR weigher for filter weighing (in a climate chamber on a vibration-insulating foundation, with an accuracy of 2 µg) and filters – “Pall Flex”. The study was conducted when the diesel engine operates on test cycles for variable speed engines according to UNECE Regulation No. 96-02. The method of assessing the effect of stabilization of the exhaust gas temperature on the efficiency of the catalytic converter with respect to the emission of solid particles was to determine the average degree of conversion of solid particles in the neutralizer during the test cycle. The test results showed that the stabilization of the temperature of the exhaust gases in front of the catalytic converter provided a relative improvement in the degree of conversion of solid particles by 56,7 %.

Keywords: diesel, exhaust gases, solid particles, temperature stabilization, catalytic converter, gravimetric method, degree of conversion of solid particles in the neutralizer.