

УДК 621.43.068.7

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ SCR В СОВРЕМЕННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВЫБРОСОВ ОКСИДОВ АЗОТА

Магомедов Магомед-Шарип Магомедович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, m-sharip05@mail.ru

Дасаев Ильдар Рифатович, студент,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, dasaev.ildar2@mail.ru

Савастенко Эдуард Андреевич, канд. техн. наук, доц.,
МАДИ, Россия, 125319, Москва, Ленинградский пр., 64, e.d.u.a.r.d@inbox.ru

Аннотация. Конструкции силовых агрегатов в современных транспортных средствах (ТС) непрерывно совершенствуются, а требования к вредоносным выбросам становятся строже. Современная система для очистки выхлопных газов заслуживает особого внимания, понятия представления работоспособности, ремонтпригодности и эксплуатации системы SCR, когда нормы к выбросам ужесточаются, а выхлопные газы могут содержать большое содержание вредных веществ, которые пагубно влияют на экологию и здоровье населения.

При этом надо понимать, есть ли смысл установки, поддержания в работоспособном состоянии и насколько хорошо система SCR справляется с выбросами, в частности выбросами NO_x. Проведено исследование и анализ на базе отзывов автовладельцев, различных испытаний, в которых сравнивались преимущества и недостатки системы SCR с системой ЕГР. Результат анализа статистических данных также представлен в данной статье.

Ключевые слова: выбросы NO_x, работоспособность системы SCR, жидкость AdBlue, нормативы ЕВРО, работоспособность системы EGR, снижение выбросов.

APPLICATION OF THE SCR SYSTEM IN MODERN INTERNAL COMBUSTION ENGINES TO REDUCE EMISSIONS OF NITROGEN OXIDES

Magomedov Magomed-Sharip M., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, m-sharip05@mail.ru

Dasaev Ildar R., student,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, dasaev.ildar2@mail.ru

Savastenko Eduard A., Ph.D., associate professor,
MADI, 64, Leningradsky Prosp., Moscow, 125319, Russia, e.d.u.a.r.d@inbox.ru

Abstract. The designs of power units in modern vehicles are continuously being improved, and the requirements for harmful emissions are becoming stricter. The modern AdBlue exhaust gas cleaning system deserves special attention, the concepts of performance, maintainability and operation, when emission standards are tightened, and exhaust gases can contain a large content of harmful substances that adversely affect the environment and public health.

At the same time, it is necessary to understand whether it makes sense to install, maintain in working condition and how well the SCR system copes with emissions, in particular NO_x emissions. Using Internet sources, various literature, the authors conducted a study and analysis based on the reviews of car owners, various tests in which the advantages and disadvantages of the SCR system were compared with the Unified State Register system.

Key words: NO_x emissions, SCR system operability, AdBlue fluid, EURO standards, EGR system operability, emission reduction.

Введение

Рост парка колёсных транспортных средств в Российской Федерации увеличивается. При этом системы, узлы и агрегаты современных транспортно-технологических средств, в число которых входит и парк легковых автомобилей, становятся более компактными и энергоёмкими, цифровыми и роботизированными, эффективными и непрерывно совершенствующимися в области безопасности ТС в течение всего срока эксплуатации, как для самих участников дорожного движения, так и для окружающей среды. Поэтому вопросы разработки и применения эффективных технологий для уменьшения выбросов химических соединений современных автомобильных систем и их элементов нам видятся на сегодняшний день особенно актуальными. Также следует отметить, что переход на альтернативные источники энергии и электрификация транспорта в ближайшее десятилетия не представляются возможными в силу ряда причин. Поэтому разработка методов и систем для снижения токсичных выбросов классических ДВС остаётся актуальной проблемой на сегодняшний день [1].

Природа образования NO_x

Система SCR предназначена для снижения оксидов азота, содержащихся в отработавших газах. В этой системе нейтрализация газов происходит выборочно, то есть в составе отработавших газов направленно снижают содержание оксидов азота.

Одна из таких систем, а именно **SCR система** нейтрализации выхлопных газов использующая раствор мочевины, изучена по подробнее.

Основными веществами, загрязняющие атмосферу в процессе сгорания топлива являются:

- оксиды серы (SO_x)
- окись углерода (CO)
- оксиды азота (NO_x)
- летучие углеводороды (C_xH_y)

Оксиды азота - единственные загрязняющие вещества, которое нельзя устранить заменой топлива, так как они образуются при соединении кислорода с азотом, которые выбрасываются в атмосферу с отработавшими газами.

Под термином «оксид азота» формула NO_x объединяет в себе три вещества:

- закись азота (N₂O)
- оксид азота (NO)
- диоксид азота (NO₂)

По происхождению NO_x можно определить систему его образования:

1. NO_x – это в совокупности название оксидов азота NO и NO₂, возникающие под действием высокого давления и большой температуры в процессе сгорания смеси в двигателе внутреннего сгорания.

2. **NO_x, образованные из топлива.** Это химическое соединение образуется при реакции органических азотных соединений, содержащиеся

в топливе с кислородом при температуре сгорания, значительно превышающей 1000 °С [2].

Поэтому особо остро проблема выброса этого компонента стоит у дизельных двигателей и автомобилях с непосредственным впрыском бензина, использующим расслоённый заряд ($\alpha = 1,8 - 3,2$). Так как такие двигатели работают на очень бедных смесях с избытком кислорода.



Рис. 1. Распределение коэффициента избытка воздуха в двигателях с непосредственным впрыскиванием бензина

Почему NO_x нужно снижать в выбросах автомобиля?

Главным причиной загрязнения атмосферы являются газы, получающиеся в результате работы и эксплуатации автомобиля. Соответственно, можно сделать вывод - чем экономичнее автомобиль, тем меньше он будет наносить вреда окружающей среде. Это суждение можно доказать тем, что чем меньше топлива и горюче-смазочных материалов (ГСМ) потратит автомобиль или дорожная машина, необходимых для преодоления одного и того же расстояния, тем безвреднее оно будет по отношению к окружающей среде.

- Требования к топливу. Прежде, чем установить экологические стандарты нужно иметь высококачественные стандарты топлива. В

противном случае выход из строя дорогих систем очистки выхлопных газов неизбежен и не предоставлять соответствующие требования к экологии.

- С ужесточением экологических требований к уменьшению вредных выбросов, автопроизводители усовершенствовали строения двигателя, системы управления и системы нейтрализации токсичных выбросов.

Что в действительности положительно проявилось на снижении расхода топлива и улучшении мощностных и экономических характеристик автомобилей.

Методы снижения NOx

Для достижения современных стандартов по выбросам выхлопных газов в дизельном двигателе внутреннего сгорания используются такие системы как:

1. DPF-фильтры. Дизельный сажевый фильтр (Diesel Particular Filter), который предназначен для улавливания твердых частиц сажи из выхлопных газов, которые возникают при работе ДВС на мощностных режимах.

2. Каталитический нейтрализатор – устройство для снижения выбросов оксида углерода (CO) и углеводорода (CH), посредством реакции окисления, и восстановления оксида азота (NOx).

3. Система рециркуляции выхлопных газов (EGR).

Отработанные газы перенаправляются в камеру сгорания с целью снижения максимальной температуры сгорания, которые в свою очередь, снижают образование оксидов азота. Правильная настройка системы EGR также приводит к уменьшению расхода топлива. Данная система может работать двумя способами:

- Внутренняя рециркуляция отработанных газов. Она обеспечивается путем установки соответствующих фаз газораспределения (перекрытие клапанов).
- Внешняя рециркуляция отработанных газов. Она обеспечивается путем использования управляемых клапанов.

Как работает система, сколько тратится жидкости

Система селективного каталитического восстановления получила свое название из-за целенаправленного воздействия на оксиды азота. Метод данного воздействия очень прост. Он заключается в разложении оксидов азота на газообразный азот и водяной пар при реакции с AdBlue (мочевинной) на керамическом катализаторе. Для достижения данной цели в поток отработанных газов распыляется жидкость AdBlue, данная жидкость поступает на каталитический нейтрализатор, под действием катализатора и высокой температуры протекают следующие химические реакции:

1. Термическое разложение мочевины на метан и изоциановую кислоту – $(\text{NH}_2)_2\text{CO} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HNCO}$;
2. Разложение изоциановой кислоты на аммиак и углекислый газ – $\text{HNCO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2$;
3. Восстановление азота из оксидов азота (при температуре более 250°C) – $4\text{NO} + 4\text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$;
4. Восстановление азота из оксидов азота (при температуре $170\text{-}300^\circ\text{C}$) – $\text{NO} + \text{NO}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow 2\text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

Принципиальная схема управления работы системы SCR представлена на рисунке 2.

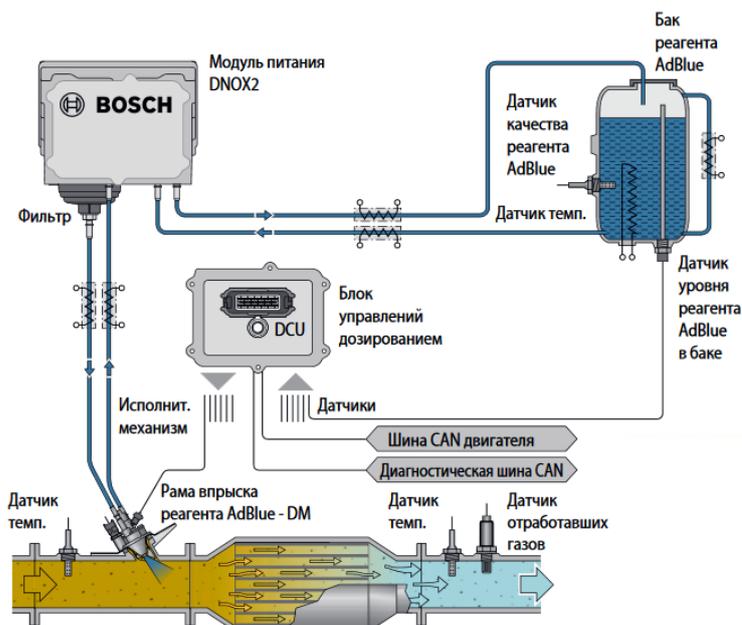


Рис. 2. Схема системы управления подачи мочевины дизельного двигателя

Работает система SCR таким образом: при пуске двигателя система некоторое время не работает, при температуре воздуха ниже $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, это время тратится на подогрев жидкости. При достижении температуры выхлопных газов $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ система начинает работать, насос забирает из бачка жидкость и под давлением в 5 бар направляет ее к форсунке, где в свою очередь происходит распыление. Электронный блок управления вносит корректировки в работу системы в соответствии с показателями датчиков и режимом работы двигателя. При остановке работы двигателя система некоторое время продолжает работать на протяжении 90 секунд – насос выкачивает жидкость из трубопроводов обратно в бачок с целью осушения насоса и самой системы, для предотвращения ее замерзания при отрицательных температурах [3].

Что такое Adblue и как помогает снизить Nox

AdBlue – это расходуемый материал в системе SCR для дизельных двигателей транспортных средств.

Жидкость состоит из 32,5% мочевины, известная как карбамид, представляет из себя органическое соединение с формулой $\text{CO}(\text{NH})_2$. Этот

амид имеет две NH_2 -группы, соединенные карбонильной ($\text{C}=\text{O}$) функциональной группой, и 67,5% деионизированной воды, последняя соответственно работает как растворитель, она помогает твердой мочеvine (бесцветные кристаллы) стать жидким раствором. AdBlue не является токсичной жидкостью, не имеет запаха, но требуется соблюдать определенные меры предосторожности при ее заправке, так как при попадании на некоторые металлические поверхности данный раствор приводит их к коррозии [4].

Расход жидкости AdBlue изменяется в зависимости от конкретной системы последующей нейтрализации выхлопных газов. Так же, на это влияет и стиль самого вождения, и условия, в которых передвигается транспортное средство в среднем от 3-6% от расхода топлива.

Стоимость: цены варьируются от 975 - 2500 рублей за 10 литров в зависимости от производителя.

Плюсы и минусы применения данного состава

Данный реагент имеет целый ряд преимуществ, среди которых:

- безвредность для людей и животных
- негорючесть;
- нетоксичность;
- отсутствие риска взрыва;
- безопасность для окружающей среды;
- экономичный расход;
- удобные условия хранения;
- высокая надежность.

Недостатки системы:

- высокая стоимость запасных частей и комплектующих в случае поломки;
- температура замерзания жидкости -11C° ;

- значительное увеличение стоимость транспортного средства из-за установленной системы;
- необходимость дозаправки реагентом.

Установка SCR на большегрузные автомобили и автобусы позволяет добиться соответствия стандартам Евро 4 и Евро 5 [5].

Сравнительный анализ системы EGR и SCR

Автомобили с системой рециркуляции выхлопных газов попадают под нормы ЕВРО-5

Содержание химических соединений в отработавших газах представлены в таблице 1.

Таблица 1

Стандарт	CO	THC	NMHC	NOx	HC+NOx	PM	P [# /km]
Дизельное топливо							
Евро-5	0.500	-	-	0.180	0.230	0.005	6×10 ¹¹

А автомобили с системой SCR попадают под нормы ЕВРО-6

Содержание химических соединений в отработавших газах представлены в таблице 2.

Таблица 2

Стандарт	CO	THC	NMHC	NOx	HC+NOx	PM	P [# /km]
Дизельное топливо							
Евро-6	0.500	-	-	0.080	0.170	0.005	6×10 ¹¹

Заключение

Полученные результаты качественной оценки работоспособности системы SCR в сравнении с EGR позволили сделать заключение о том, что содержание NOx уменьшается на 45% при применении системы SCR и жидкости Adblue, с чем не может сравниться EGR. Поэтому применение

системы SCR и жидкости Adblue перспективно по сравнению с EGR. Также, здесь есть смысл сказать, что в случае очень большого количества впрыснутой мочевины будет образовываться аммиак. Поэтому количество впрыскиваемой доли должно строго рассчитываться ЭБУ. Таким образом полностью нейтрализовать выбросы NOx не получится, но свести их к минимуму возможно

Список литературы

1. Перспективы развития электромобилей в России / С.Н. Девянин, В.А. Марков, А.А. Савастенко, Э.А. Савастенко // 9-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник докладов Международной научно-технической конференции, Москва, 29 января 2021 года. – М.: МАДИ, 2021. – С. 114-121.
2. Исследование качества автомобильного бензина и его влияние на экологию города / А.А. Хазиев, А.В. Сотсков, А. Ю. Творогов [и др.] // Проблемы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта: сборник научных трудов, посвященный 85-летию кафедры ЭАТиС МАДИ, по материалам 79-й научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 26–27 января 2021 года. – М.: МАДИ, 2021. – С. 121-124.
3. Григорьев, М.В. Диагностика электронных систем управления бензиновых двигателей: методические указания к лабораторной работе / М.В. Григорьев. – М.: МАДИ, 2013. – 24 с.
4. DRIVE2: официальный сайт [Электронный ресурс]. Что такое AdBlue. – URL: <https://www.drive2.ru/o/b/566060747767940542/> (дата обращения: 2.04.2022).
5. 5.Энергогаз официальный сайт [Электронный ресурс]. Что такое NOx? – URL: http://www.energogaz.su/articles/chto_takoe_nox/ (дата обращения: 2.04.2022).

Reference

1. Devyanin S.N., Markov V.A., Savastenko A.A., Savastenko E.A. 9-ye *Lukaninskiye chteniya. Problemy i perspektivy razvitiya avtotransportnogo kompleksa: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Moscow, MADI, 2021, pp. 114-121.

2. Khaziev A.A., Sotskov A.V., Tvorogov A.Y. et al. *Problemy tekhnicheskoy ekspluatatsii i avtoservisa podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta: sbornik nauchnykh trudov, posvyashchennyy 85-letiyu kafedry EATiS MADI*, Moscow, MADI, 2021, pp. 121-124.
3. Grigoriev M.V. *Diagnostika elektronnykh sistem upravleniya benzinovykh dvigateley* (Diagnostics of electronic control systems of gasoline engines), Moscow, MADI, 2013, 24 p.
4. URL: <https://www.drive2.ru/o/b/566060747767940542/>.
5. URL: http://www.energogaz.su/articles/chto_takoe_nox/ (date: 2.04.2022).

Рецензент: А.Л. Яковенко, канд. техн. наук, доц., МАДИ