

## СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ОКСИДОВ АЗОТА АВТОТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

ЛИСОВСКИЙ А. Л., РАЖАНЕЦ М. А., ШИПИЛО Д. А.

(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;  
г. Новополоцк, Республика Беларусь)

**Введение.** Автотранспорт является главным источником вредных выбросов оксидов азота в атмосферу при всех видах сжигаемого топлива при всех режимах работы.

Содержание вредных веществ в выбросах автомобилей колеблется в широких пределах и зависит от многих факторов, например, при скорости 70 км/ч в выхлопе автомобиля содержится 0,2...0,3 % CO, при скорости более 100 км/ч и при работе двигателя на холостом ходу содержание этого опасного газа достигает 12 %. Легковой автомобиль выбрасывает оксида углерода CO до 3 м<sup>3</sup>/ч, грузовой – до 6 м<sup>3</sup>/ч (3...6 кг/ч). О составе выхлопных газов автомобилей с различными типами двигателей можно судить по данным, приведенным на рисунок 1 и рисунок 2.

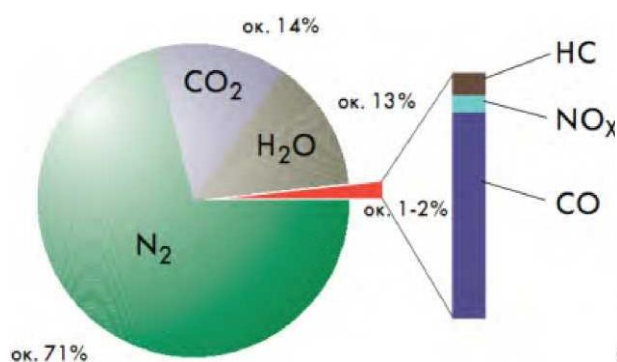


Рисунок 1. – Состав отработанных газов бензиновых двигателей

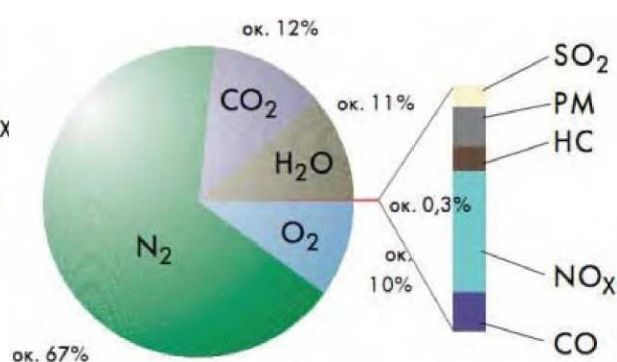


Рисунок 2. – Состав отработанных газов дизельных двигателей

Причиной повышенного образования оксидов азота являются высокая температура горения топливной смеси (1050–1100°) [1] и большой избыток воздуха в зоне горения топлива, особенно обедненных топливных смесей бензиновых двигателей и в большей степени в дизельных двигателях при холостых и малых оборотах.

Для уменьшения вредных выбросов оксидов азота в двигателях внутреннего сгорания применяют два основных способа. Первый способ заключается в дозированной подаче во всасывающий коллектор части отработанных газов через клапан EGR. Второй способ – это избирательное каталитическое снижение, так называемая очистка выхлопных газов от оксидов азота. Суть метода заключается в строго дозированном впрыскивании реагента в поток отработанных газов в присутствии

катализатора, в результате чего происходит химическая реакция превращения токсичных оксидов азота ( $N_x O_y$ ) в безвредные вещества – азот и воду.

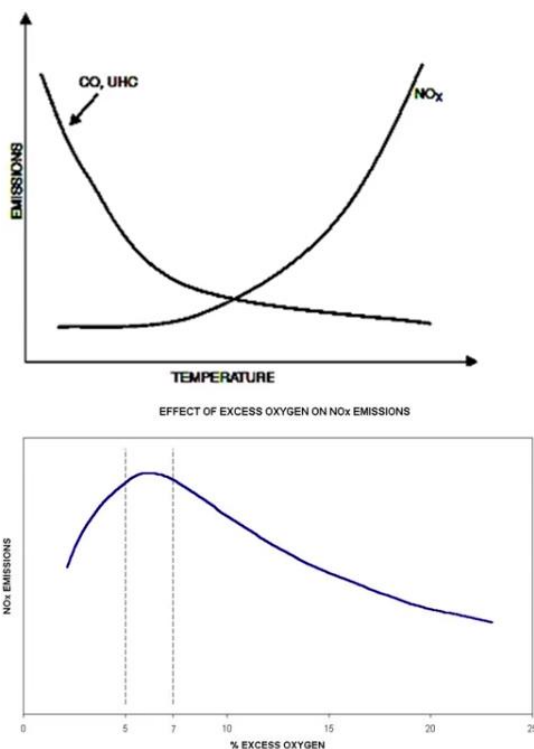
Ученые Кошалинского технического университета (Польша) и Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета разработали метод впрыскивания водяного пара, позволяющий снизить выбросы оксидов азота промышленно-отопительными котлами. Суть метода заключается в точном воздействии струй пара на зоны интенсивной генерации оксидов азота, что приводит к снижению температур в зоне горения. Эти струи активно перемешивают газ и воздух, что в свою очередь ведет к полному сгоранию при значительно меньшем избытке воздуха. Оба эти фактора обеспечивают требуемое снижение выбросов оксидов азота [3].

Цель исследования – снизить содержания оксидов азота в отработанных газах (Евро 1 – Евро 5) посредством подачи вместо части относительно горячих отработанных газов во всасывающий коллектор дозированно распыленную бензиновой форсункой воду.

Способы, применяемые для снижения образования оксидов азота в двигателях внутреннего сгорания имеют как положительные свойства, влияющие на работу двигателя так и отрицательные.

Рассмотрим первый способ – дозированная подача во всасывающий коллектор части отработанных газов через клапан EGR.

Действительно дозированная подача части выхлопных газов во всасывающий коллектор снижает температуру в камере сгорания за счет уменьшения скорости горения топливной смеси.



**Рисунок 3. – Содержание оксидов углерода и азота в зависимости от температуры в камере сгорания и кислорода в топливной смеси**

То есть при низкой температуре горения реакция образования оксидов азота практически не протекает, чем и пытались воспользоваться, внедряя систему подачи части выхлопных газов во всасывающий коллектор двигателей внутреннего сгорания, применяя систему EGR.

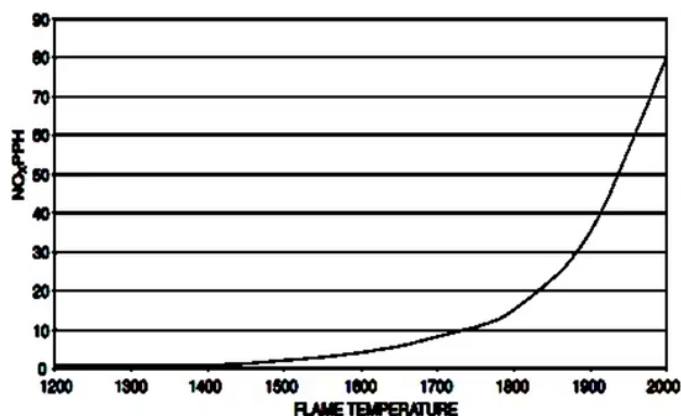


Рисунок 4. – Образование оксидов азота в камере сгорания дизельного двигателя в зависимости от температуры горения топливной смеси

Подавая часть выхлопных газов в камеру сгорания концентрация кислорода в горячей топливной смеси несколько разбавляется, что особенно важно для дизельных двигателей, работающих на холостом ходу и малых нагрузках, и скорость горения несколько уменьшается, и температура горения также снижается.

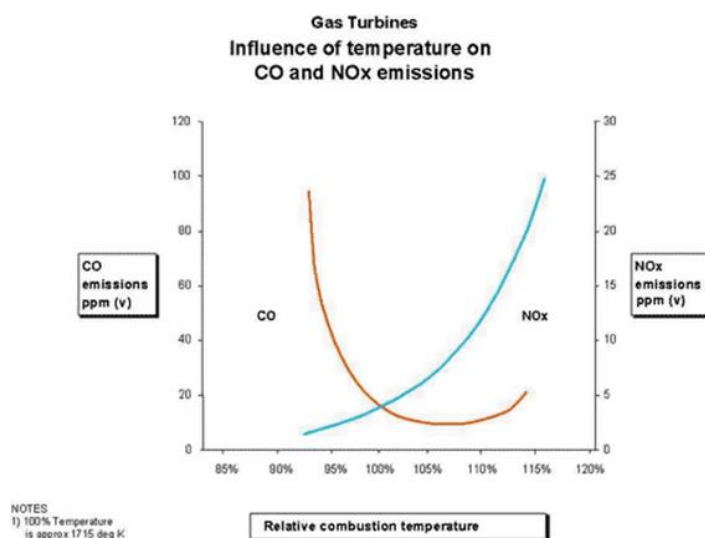


Рисунок 5. – Содержание оксидов азота и CO в выхлопных газах от относительной температуры горения

Однако подавая часть горячих выхлопных газов во всасывающий коллектор, где встречаются газы системы вентиляции картера, насыщенные парами и каплями масла, на поверхности клапана образуется толстый слой нагара – рисунок 4.



**Рисунок 6. – Слой нагара, образовавшийся в результате подачи горячих выхлопных газов во всасывающий коллектор и клапан EGR**

В последнее время современные двигатели внутреннего сгорания имеют нормировано повышенный расход масла – согласно инструкциям по обслуживанию и ремонту до 0,5–1,0 литра масла на 1000 км пробега. Все большее количество этого масла поступает через систему вентиляции картера во всасывающий коллектор. Все чаще встречаются экземпляры, поступивших на обслуживание автомобилей с большими нагарами во всасывающих коллекторах.

В тоже время горячие газы, поступившие во всасывающий коллектор, частично снижают эффективность турбо наддува и встроенного в него интеркуллера, нагревая корпус всасывающего коллектора.

Второй способ – это избирательное каталитическое снижение, так называемая очистка выхлопных газов от оксидов азота также имеет свои положительные и отрицательные свойства.

В поток отработавших газов впрыскивается водный раствор карбамида, то есть мочевины, мочевина реагирует с оксидами азота с образованием чистого азота и воды. Так родился реактив AdBlue, в некоторых странах известный как AUS 32, где 32 обозначает концентрацию мочевины в процентах в водном растворе. Технология мочевиновой нейтрализации оксидов азота получила название SCR (Selective Catalytic Reduction) – селективное каталитическое восстановление) и используется практически всеми крупными производителями автомобильной и сельскохозяйственной техники.

Сам раствор мочевины в воде стал жестко стандартизованным продуктом (DIN 70070 и ISO 22241), который выпускается строго по лицензии. Почему так жестко? Ведь мочевина активно используется как органическое удобрение, а воды вокруг хоть зелейся? Обязательное использование именно лицензированного продукта связано с очень жесткими требованиями к чистоте продукта. Дело в том, что расход AdBlue при работе автомобильного двигателя составляет порядка 3–5 % от расхода топлива, стало быть, дозирующая аппаратура очень точная и чувствительная к малейшим загрязнениям. Незначительные примеси посторонних веществ

из самой мочевины или из воды выводит из строя дорогостоящее оборудование. И двигатель при выходе из строя системы SCR работать не будет, так как электроника не позволит его даже завести. Примерно такая же настройка используется и в случае опорожнения бака с мочевиной, автомобиль проедет еще несколько десятков километров с пустым баком, но повторный запуск двигателя электроника заблокирует. Так производители соблюдают экологические нормативы. Очень капризен реактив AdBlue и к условиям хранения, особенно при повышенных и пониженных температурах. При нарушении температурного режима раствор мочевины теряет свойства, к счастью, не сразу, а за несколько раз. Оптимальный режим хранения не более 36 месяцев при температурах 0–10 °С. Срок хранения при температуре выше 25 °С сокращается в два раза. После однократного замораживания-размораживания продукт не теряет свои свойства и полностью работоспособен. Установленный на автомобиль бак для AdBlue обычно термостатирован и снабжен автономным подогревателем. Даже при двухсуточной стоянке при температуре –40 °С, AdBlue не замерзнет. Дозирующее устройство и блок подачи также снабжены подогревом.

В настоящее время этот продукт является импортным товаром со всеми вытекающими санкциями, что в какой-то мере затрудняет его использование. А грузовые дизельные автомобили производства Республики Беларусь не оснащены подобными устройствами.

Проанализировав результаты образования оксидов азота при работе двигателей внутреннего сгорания и способы снижения вредных выбросов оксидов азота на территории Республики Беларусь, и предложенные методы снижения вредных выбросов ученых Кошалинского технического университета (Польша) и Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета которые разработали метод впрыскивания водяного пара, позволяющий снизить выбросы оксидов азота промышленно-отопительными котлами натолкнула на мысль использовать аналогичные способы для снижения выбросов оксидов азота и в двигателях внутреннего сгорания особенно дизельных, была составлена модель исследований.

Подачу факела распыленной воды запланировали в дизельном двигателе перед клапаном EGR под углом 85–90° к направлению потока газов на расстоянии 40–50 мм и синхронно открывать форсунку с открытием клапана. Объем подаваемой воды регулировали с помощью давления в емкости для воды с помощью накачиваемого воздуха. Подача воды снижает температуру отработанных газов и образование нагара на стенках клапана (любая влага снижает слипание частиц сажи) и во всасывающем коллекторе, что сказывается на их объеме и температуре, а при попадании капелек воды в камеру сгорания за счет ее испарения понизится температура горения, что предположительно понизит образования оксидов азота.

Исследования проводили на двигателе 1,9Д АТД Фольксваген, имеющий клапан EGR регулирующий подачу части отработанных газов во всасывающий коллектор для уменьшения выбросов оксидов азота в окружающую среду. Для подачи воды использовали бензиновую форсунку встроенную патрубком подачи во всасывающий коллектор и управляемую от блока управления двигателем по той же цепи что и клапан EGR, но с электрической развязкой и усилением сигнала. То есть открытие форсунки и клапана было синхронизировано.

Воду на форсунку подавали из отдельной емкости под давлением от 1,5–3,5 бар. Содержание оксидов азота определяли с помощью газоанализатора ГИАМ – 29М.

В результате проведенных исследований выявлена перспективность уменьшения количества вредных выбросов оксидов азота в среднем на 40–60 %. Однако за счет более тонкой и точной настройки дозирования подачи и времени попадания ее в камеру сгорания позволит стабилизировать процесс горения топлива при меньшей температуре без уменьшения мощности двигателя, а для этого требуются дополнительные исследования.

**Заключение.** В результате проведенных исследований:

- показана перспективность применения подачи газо-водяной смеси в камеру сгорания дизельного двигателя с целью снижения вредных выбросов оксидов азота и перспективность проведения дальнейших исследования в данном направлении;
- однако для полноты решений требуется дополнительное время и финансы;
- применения воды является более дешевым вариантом уменьшения вредных выбросов оксидов азота, чем применения специальных, довольно дорогостоящих жидкостей в основном импортного производства, применяемых для грузовых дизельных автомобилей.
- работа носит довольно высокий научно-технический уровень, так как публикаций в данном направлении не значительно.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко Е.В., Ерохов В.И. Образование окислов азота при сгорании моторных топлив Вестник ОГУ Приложение «Автотранспортные системы». – Оренбург. – С. 31–43.
2. Альферович В.В. Состав отработавших газов двигателей внутреннего сгорания. Методическое пособие. БНТУ/ АТФ. – Минск, 2011. – 40 С.
3. [https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c\\_science/news/199063/](https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_science/news/199063/).