

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОКСИДОВ АЗОТА ДИЗЕЛЬНОГО ДВС И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО РАБОТЫ

К.Т.Н. Шабанов А.В.¹, Соломин В.А.¹, Шабанов А.А.²

¹НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», Москва, Россия

²Московский политехнический университет, Москва, Россия

saaha-1955@mail.ru

В статье проведен анализ работы систем нейтрализации оксидов азота, применяемых на современных грузовых автомобилях с дизельными ДВС. Констатируется, что современное развитие технологий электронного впрыска топлива и каталитической нейтрализации продуктов сгорания обеспечивает возможность реализации процессов нейтрализации оксидов азота с эффективностью до 90 %. Самым эффективным методом снижения токсичности ОГ дизелей является очистка ОГ в системе выпуска автомобиля методом SCR-NH₃. Существенным недостатком данной системы является наличие нормируемого Правилами № 49-06 токсичного вещества аммиака. Правилами № 49-06 обеспечивается контроль в эксплуатации выбросов оксидов азота системой бортовой диагностики введением предельных значений выбросов, но отслеживание выбросов аммиака в эксплуатации не предусматривается.

Отмечается, что государственные санитарные стандарты Российской Федерации и службы мониторинга окружающей среды предписывают в нормативных документах контроль предельного уровня выбросов вредных веществ аммиака и оксидов азота с ПДКсс 0,04 мг/м³. Тем самым предусматривается одинаковый подход по ограничению данных выбросов. Для эффективного функционирования системы очистки аммиаком, поддержания реакции нейтрализации необходима настройка системы очистки и поддержание оптимального температурного диапазона работы.

Отмечается, что для обеспечения высокой активности восстановительных реакций необходима настройка системы очистки и поддержание оптимального температурного диапазона работы (температура порядка 350–550 °С). В этой связи исследована возможность доработки системы нейтрализации способом впрыска мочевины в цилиндр ДВС на такте расширения для нейтрализации оксидов азота и снижения выбросов аммиака, а также повышения эффективности работы дизельного ДВС использованием теплоты отработавших газов созданием высокого давления в рабочем цилиндре ДВС на такте расширения, увеличением полезной работы и повышения давления наддува.

При дозировании через форсунку раствора мочевины, имеющего высокую теплоемкость, и последующего процесса расширения отработавших газов значение температуры в цилиндре ДВС достигает необходимого значения для восстановительной реакции. Высокая температура, обеспечивая вынос продуктов реакции, способствует высокой эффективности поддержания процесса нейтрализации NO_x. Внутрицилиндровое охлаждение двигателя впрыском мочевины, содержащей воду, решает проблему теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы высокофорсированного ДВС без значительного увеличения тепловых потерь рабочего процесса ДВС.

Ключевые слова: системы очистки SCR-NH₃, дизельный ДВС, впрыск мочевины, повышения эффективности работы ДВС, выбросы оксидов азота и аммиака, предельно допустимые концентрации.

Введение

Нормирование выбросов вредных веществ ДВС грузовых автомобилей установлено Правилами № 49 ООН. На территории РФ действуют нормы уровня выбросов Евро-5 данных Правил, а в странах ЕЕС с 2014 г. Евро-6. Введение новых требований Правил 49-06 предусматривает ужесточение выбросов по оксидам азота (NO_x) в 5 раз. Природа образования NO_x

связана с взаимодействием азота с кислородом воздуха при высокой температуре в цилиндре ДВС. Бурный рост оксидов азота наблюдается при температуре выше 2200 К. Следует сказать, что работ по снижению выбросов оксидов азота за счет снижения максимальной температуры в камере сгорания было написано довольно много. Наиболее простой способ, который использовался, это впрыск воды в камеру

сгорания дизельного ДВС. Впрыск воды в цилиндр позволял снизить температуру горения с 2400 К до 2100 К. Максимальная мощность двигателя при этом снижалась до 20 %, при эффективности снижения выбросов азота 15 %. Для бензиновых двигателей применяли в качестве присадки к топливу метанол, но эффективность такого способа составляет всего 10 %.

Другое направление снижения оксидов азота – это применение рециркуляции ОГ и каталитических нейтрализаторов селективной очистки. Применение рециркуляции ОГ позволяет получить эффективность снижения NOx до 50 % при некотором снижении мощности двигателя. Данный способ приводит к засорению масла продуктами износа и окисления. Противоядием этому – применение дорогих специальных марок масел, рассчитанные на тяжелые условия его работы. Кроме того, продукты серы, содержащиеся в газах, участвующих в рециркуляции, отравляют катализатор и снижают эффективность процесса нейтрализации.

Современное развитие технологий электронного впрыска топлива и каталитической нейтрализации продуктов сгорания обеспечивает возможность реализовать процессы нейтрализации вредных веществ с более высокой эффективностью до 90 %. При этом к нейтрализаторам токсичных веществ, выделяемых ДВС, предъявляются определенные требования. В процессе работы нейтрализатора должна быть обеспечена высокая термостойкость его конструкции, а также необходимая прочность от высоких температур в условиях агрессивности кислотной среды. Предельная температура, которую может выдержать нейтрализатор, 970 °С.

В опубликованных ранее авторами работах [1, 2] были проанализированы системы каталитических нейтрализаторов ДВС для снижения выбросов NOx, показана важность и возможности настройки работы реактора каталитического нейтрализатора на оптимальный диапазон его работы для повышения эффективности каталитической нейтрализации NOx. Проанализировано влияние факторов температуры, состава газов, параметров работы ДВС на процессы нейтрализации NOx, а также рассмотрена кинетика разложения оксидов азота в реакторе при этих факторах. В дизельном ДВС самым эффективным методом нейтрализации NOx является метод SCR-NH₃ (Selective Catalytic Reduction).

Процесс восстановления оксидов азота мочевиной описывается уравнением:



Работы над технологией очистки оксидов азота методом SCR-NH₃ с применением эффективного и недорогого вещества мочевины были начаты еще в 90-е гг. С введением норм Евро 4 в Европе данные системы первоначально устанавливались на грузовиках и автобусах Mercedes-Benz, а за тем получили широкое распространение и на других грузовых автомобилях. При введении более жестких норм выбросов система SCR-NH₃ прошла модернизацию и уже выполняла современные нормы. Следует сказать, что в настоящее время разработаны и другие типы нейтрализации NOx, например SCR-HC, в которых требуется впрыскивать топливо для поддержания высокой температуры в нейтрализаторе.

Целью данной работы являлся анализ работы систем очистки NOx, применяемых на современных грузовых автомобилях с дизельными ДВС, и исследование возможности доработки систем впрыском мочевины в цилиндр ДВС на такте расширения для нейтрализации NO и повышения эффективности работы дизельного ДВС использованием теплоты ОГ.

Очистка оксидов азота методом SCR-NH₃

В состав системы очистки SCR-NH₃, применяемой на современных грузовых автомобилях с дизельными ДВС, входит каталитический нейтрализатор восстановления с системой дозирования мочевины (AdBlue), которая управляется от параметров ДВС и, в том числе, от температуры, состава ОГ и концентрации NO в ОГ. Эти системы довольно сложны и имеют свои недостатки при их эксплуатации. Одним из существенных недостатков данных систем является наличие нормируемого Правилами № 49-06 токсичного вещества аммиака. В таблице 1 приведены нормируемые Правилами № 49-06 значения вредных веществ, относящихся к азотной аммиака. При некорректной работе системы регулирования подачи мочевины и при потере эффективности системы нейтрализации в эксплуатации выброс аммиака увеличивается.

В РФ государственными санитарными стандартами установлены нормы предельных допустимых концентраций (ПДК) по выбросам аммиака в окружающую среду. До-

Вредные вещества, нормируемые Правилами № 49-06

Требования	Предельные значения			
	NO _x мг/кВт·ч	NH ₃	Показатель ухудшения в эксплуатации NO _x **	Показатель соответствия в эксплуатации NO _x
Евро-5	2000		1,05	
Евро-6	400	10 млн ⁻¹ * (0,001 %)	1,15	1,5

* Правила № 49-05 «Уровень выбросов вредных веществ Евро-5» допускают концентрации NH₃ = 25 млн⁻¹ (0,0025 %).

** Этот показатель определен на основе испытаний с короткой длительностью и с последующим проведением регрессионного анализа и экстраполяции полученных результатов на нормативный пробег.

пустимая концентрация аммиака в воздухе рабочей зоны составляет ПДКз = 20 мг/м³ или 0,00002 кг/м³/0,771кг/м³= 0,000026 %, (в 100 раз ниже нормы Правил № 49-05), максимально допустимая разовая концентрации для населенных пунктов при воздействии < 30 мин еще ниже ПДКм.р. = 0,2 мг/м³. Допустимая концентрация ПДКсс в воздухе населенных мест еще значительно ниже (в 5 раз) 0,04 мг м³ [4]. Следует сказать, что при выходе отработавших газов, содержащих NH₃, из двигателя в окружающую среду газы разбавляются окружающим воздухом, и их концентрация в воздухе снижается.

Применение высоко концентрированного аммиака опасно для окружающей среды, поэтому в системе нейтрализации SCR-NH₃ используется 30–35 % раствор мочевины. Вода, содержащаяся в мочеvine, играет роль растворителя аммиака. Известно, что применение высоко концентрированного аммиака опасно

для окружающей среды. Следует отметить, что получение однородности аммиачной смеси в химических реакторах является одним из условий высокой эффективности реакции.

На рис. 1 представлена система очистки SCR-NH₃ дизельного ДВС. Система селективного каталитического восстановления окислов азота в отработавших газах дизельных двигателей содержит окислительный нейтрализатор отработавших газов, гидролизный нейтрализатор, заграждающий нейтрализатор, устройство хранения и подачи мочевины, систему подачи мочевины через форсунку в трубопровод выпуска отработавших газов.

Давление в системе подачи мочевины составляет 0,3–0,6 МПа. Мочевина, проходя через форсунку, смешивается с воздушным потоком и впрыскивается в поток газа после окислительного нейтрализатора в виде облака капель. В последующей модернизации системы мочеvина впрыскивается без использования

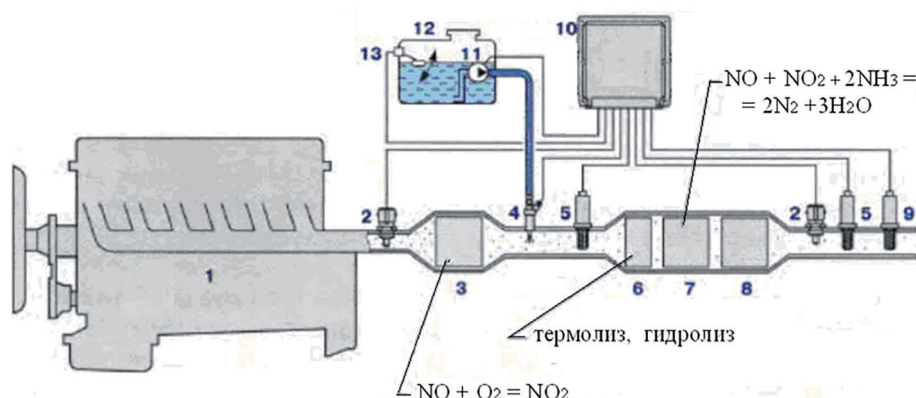


Рис. 1. Система очистки SCR-NH₃, применяемая на грузовых автомобилях с дизельными ДВС:

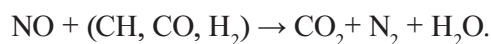
- 1 – ДВС, 2 – датчик температуры, 3 – окислительный нейтрализатор, 4 – форсунка для впрыскивания восстановителя, 5 – датчик NO_x, 6 – гидролизный нейтрализатор, 7 – нейтрализатор SCR, 8 – заграждающий нейтрализатор, 9 – датчик NH₃, 10 – блок управления системой очистки, 11 – насос восстановителя, 12 – бак восстановителя, 13 – датчик уровня восстановителя

сжатого воздуха. Средний расход мочевины составляет: от 3,5 до 6 % от потребляемого автомобилем дизельного топлива. Для магистрального тягача расход составляет около 2 л на 100 км. 100-литровый бак мочевины расходуется на 5000 км пути. Применение системы SCR-NH₃, как утверждают специалисты, позволяет расходовать до 30 % меньше топлива, чем другие системы нейтрализации [7].

Основная реакция восстановления аммиаком азота и нейтрализации NO в системе очистки SCR-NH₃ идет с образованием значительной части воды [6]:



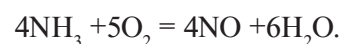
В нейтрализаторе часть аммиака NH₃ окисляется до образования NO, а окись углерода CO окисляется до CO₂. NO вступает в реакцию с углеводородами, в результате образуются углекислый газ, азот и водяной пар [7]:



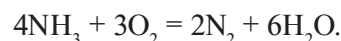
Избыток аммиака окисляется до свободного азота в загряздающем нейтрализаторе, расположенном на выходе, защищающем окружающую среду от утечки аммиака, не вступившем в реакцию. Следует сказать, что сложность при создании каталитического нейтрализатора вредного вещества ДВС оксидов азота сопряжена с большим спектром требований, которые заключаются, в частности, в создании на различных режимах работы ДВС необходимой температуры. В каталитическом реакторе для образования азота и обеспечения высокой активности (до 90 %) восстановительных реакций, протекающих в реакторе в очень короткое время, температура должна составлять 350–550 °С. На рис. 2 приведена эффективность процесса нейтрализации NO от температуры за счет впрыска углеводородного топлива в поток газов. Степень преобразования NO зависит от соотношения концентраций CH и NO. Для приведенного случая это соотношение составляет 6/1 [7].

Повышение температуры в системе очистки SCR-НС до определенного уровня способствует увеличению эффективности и скорости химической реакции и обеспечению высокого коэффициента диффузии аммиака в ОГ. Высокая температура, обеспечивая вынос продуктов реакции, способствует высокой эффективности поддержания процесса нейтрализации NO даже при наличии каталитических ядов, к которым относятся сернистые соединения, со-

держающиеся в топливе, и некоторые компоненты продуктов неполного сгорания дизельного топлива. Для создания высокой температуры также применяют дополнительную подачу топлива в реактор, обеспечивая процесс окисления углеводородных топлив у поверхностного слоя катализатора с выделением большого количества тепла (система очистки SCR-НС). Вместе с тем при положительном действии температуры значительные ее величины приводят к образованию закиси азота N₂O (Правилами № 49 не нормируется) [7]. В загряздательном нейтрализаторе при температуре выше 400–550 °С идет реакция окисления остаточного аммиака кислородом, содержащимся в ОГ с образованием вторичного NO:



Это может привести к росту выбросов оксидов азота, падению эффективности нейтрализатора. Реакция также идет с образованием молекулярного азота:



При понижении температуры эффективность нейтрализатора падает. При уменьшении температуры до 200 °С реакция идет с образованием нитрида аммония, прекращается термолиз, гидролиз мочевины и восстановление азота аммиаком [7]:



В интервале температур ОГ 200–300 °С происходит относительно медленный процесс разложения мочевины, что приводит к необходимости увеличивать протяженность зоны между форсункой подачи мочевины и окислительным нейтрализатором и изыскивать другие методы интенсификации этого процес-

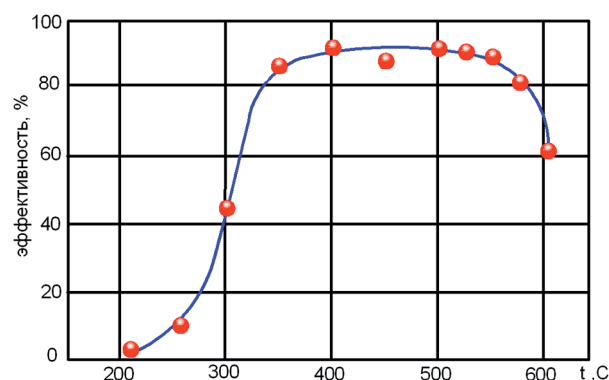


Рис. 2. Эффективность процесса нейтрализации NO от температуры

са с применением нагревательных элементов. Американская компания Eaton разработала довольно сложную и дорогую технологию на основе SCR, в которой аммиак получают в системе выпуска и воздействуют на мочевины высокими температурами. Компания Emites также использует принцип нагревания мочевины до значительных температур для более эффективного процесса нейтрализации NOx [8].

Для эффективного функционирования системы очистки аммиаком, поддержания реакции окисления аммиака и образования молекул азота и воды необходима настройка системы очистки и поддержание оптимального температурного диапазона работы. На рис. 2 приведена эффективность процесса нейтрализации NO от температуры в реакторе. Из рис. 2 видно, что максимальная эффективность процесса нейтрализации NO системой очистки SCR-NH₃ достигается в зоне 350–550 °С.

ДВС с впрыском мочевины для снижения выбросов оксидов азота и использования теплоты ОГ для повышения эффективности его работы

В статье, опубликованной авторами ранее [9], была выполнена оценка возможного использования теплоты, содержащейся в ОГ дизельного ДВС, за счет подачи воды на такте расширения отдельной форсункой. Было показано, что у рабочего процесса ДВС имеются значительные резервы улучшения топливной экономичности и мощностных параметров за счет дополнительного использования тепловой

энергии при впрыске воды в отработавшие газы дизельного ДВС. Реализация данного способа по данным проведенного расчета позволит дополнительно повысить давление на такте расширения до 2 кг/см² и перед входом в турбокомпрессор. Созданием высокого давления наддува можно значительно увеличить прирост мощности и эффективного КПД двигателя. В этой связи тепловая энергия выхлопных газов может быть более выгодно использована, если на такте расширения газов применить впрыск мочевины в цилиндры ДВС. На рис. 3 приведена схема дизельного ДВС с установкой топливной форсунки (1) и форсунки для впрыска мочевины (2). В камере сгорания ДВС форсунку для впрыска мочевины можно расположить в отверстии для установки свечи накала, которую использовали ранее.

Впрыск в рабочую камеру мочевины позволит сократить тепловые потери с ОГ, создать оптимальные температурные условия для нейтрализации оксидов азота и повысить КПД двигателя. В цилиндре ДВС можно с меньшими затратами получить необходимую температуру и более эффективно использовать топливо для этих целей. При этом паровая энергия повысит производительность газотурбокомпрессора и его КПД, например, в проблемной по наполнению воздухом зоне на малых частотах вращения дизельного ДВС и снизить дымность отработавших газов.

Следует отметить, что форсирование ДВС высоким наддувом связано с ростом концентраций оксидов азота в цилиндре и дополнительными проблемами по охлаждению деталей

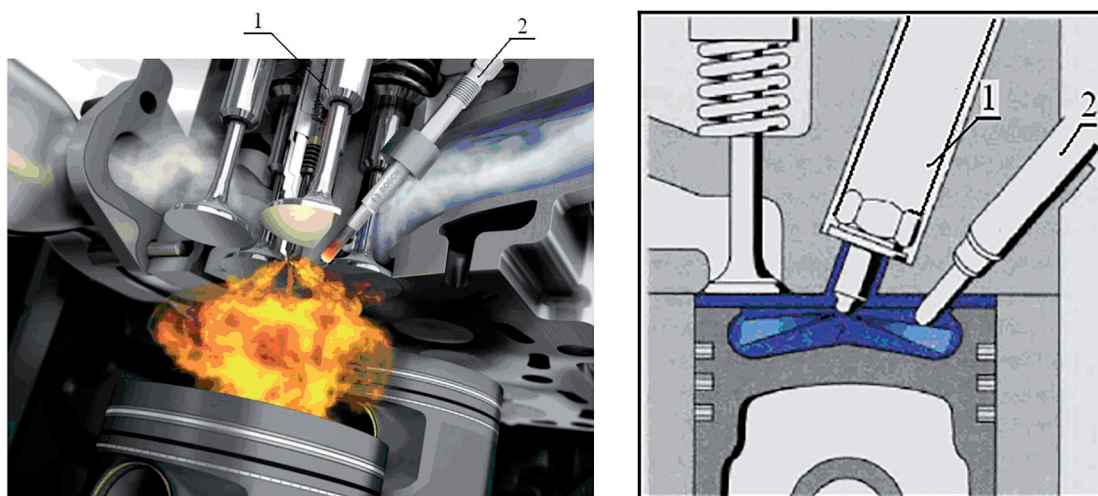


Рис. 3. Дизельный ДВС с подачей мочевины через отдельную форсунку на такте расширения:
1 – топливная форсунка, 2 – форсунка для впрыска мочевины

цилиндропоршневой группы, требует применения специальных материалов, которые могут выдержать высокие температуры в цилиндре ДВС. При впрыске мочевины можно снизить теплонапряженность рабочего процесса ДВС, т.к. вода, содержащаяся в мочеvine, при испарении заберет значительное количество выделившегося тепла от сгорания топлива.

При впрыске мочевины в цилиндр ДВС в условиях высокой температуры и давления можно получить хорошее распыливание и однородность аммиачной смеси и тем самым обеспечить высокую эффективность и регулирование восстановительной реакции аммиаком.

Продукты сгорания топлива по внешней скоростной характеристике дизельного ДВС имеют температуру, соответствующую максимальной эффективности процесса нейтрализации NO 350–600 °С. При дозировании через форсунку раствора мочевины, имеющего высокую теплоемкость, и последующего процесса расширения отработавших газов, значение температуры в цилиндре ДВС может достигать необходимого значения для восстановительной реакции. При нагреве отработавшими газами мочевины из ее раствора испаряется вода. Затем при температуре свыше 180 °С начинается термолит мочевины с образованием аммиака и последующий гидролиз мочевины с образованием CO_2 и аммиака.

Аммиак, не вступивший в реакцию восстановления, можно окислять до свободного азота при повышении температуры в цилиндре ДВС за счет дополнительной подачи топлива. При этом способе может достигаться высокая степень очистки выбросов оксидов азота, поскольку возможно впрыскивание в цилиндры ДВС дополнительной порции мочевины и топлива.

Время для химического процесса нейтрализации увеличивается, т.к. реакция может протекать непосредственно и в выпускной системе ДВС. На рис. 4 приведена схема определения начала (точка 1) и конца (точка 3) процесса сгорания по индикаторной диаграмме ДВС.

Окончание процесса сгорания определяется в точке 3 индикаторной диаграммы рис. 4. Кривая 1–2–3 процесса сгорания (красная линия) разделяет процессы сжатия (зеленая линия) и процесс расширения (синяя линия) в цилиндре двигателя. Эти процессы характеризуются разным характером нарастания и падения давления при сгорании топлива. Процесс сгорания в дизельном ДВС занимает 60–100°

поворота коленчатого вала и зависит от частоты вращения коленчатого вала и количества впрыскиваемого топлива. К этому времени заканчивается процесс тепловыделения и начинается процесс расширения газов в цилиндре ДВС. Исходя из этого можно выполнить предварительную, а затем и экспериментальную настройку подачи мочевины форсункой по углу поворота коленчатого вала двигателя.

Выводы

Анализ работы систем очистки SCR-NH₃, SCR-НС, применяемых на современных грузовых автомобилях с дизельными ДВС, показал, что современное развитие технологий электронного впрыска топлива и каталитической нейтрализации продуктов сгорания обеспечивает возможность реализовать процессы нейтрализации вредных веществ с эффективностью до 90 %. Существенным недостатком данных систем является наличие нормируемого Правилами № 49-06 токсичного вещества аммиака, концентрация которого в ОГ находится на достаточно высоком уровне.

Доработка метода очистки SCR-NH₃ способом впрыска мочевины в цилиндр ДВС на такте расширения позволит повысить эффективность нейтрализации NO_x и неиспользованного аммиака регулированием восстановительной реакции в условиях высокой температуры, давления в цилиндре ДВС и в выпускной системе.

Тепловая энергия выхлопных газов при впрыске мочевины в цилиндры ДВС на такте расширения газов может быть использована

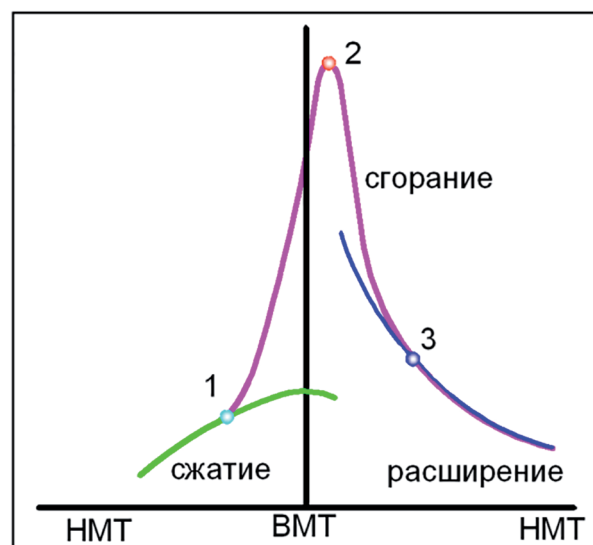


Рис. 4. Определение начала (точка 1) и конца (точка 3) процесса сгорания по индикаторной диаграмме ДВС

для создания повышения давления в рабочем цилиндре ДВС на такте расширения для дополнительной работы пара воды. Впрыск мочевины в цилиндры ДВС также может снизить теплонапряженность рабочего процесса без значительного увеличения тепловых потерь рабочего процесса ДВС.

Литература

1. Соломин В.А., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Селезнев А.А. К вопросу снижения оксида азота в отработавших газах бензинового двигателя корректировкой состава топливовоздушной смеси и последующей нейтрализацией продуктов сгорания в каталитическом нейтрализаторе. // Автомобильная промышленность. № 6, 2018.
2. Соломин В.А., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Килушник В.М. Младенский А.В. К вопросу повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора // Известия МГТУ МАМИ, № 1 (31). 2017. С. 63–70.
3. Козлов А.В., Теренченко А.С., Васильев А.В. Анализ экологических требований Евро-6 // Журнал ААИ. № 3 (104), 2017.
4. Вайсблум М.Е. Новые тенденции в развитии требований ООН в отношении экологических показателей АТС и устанавливаемых на них двигателей // Журнал ААИ. № 3 (68). 2011.
5. Грушко Я.М. Справочник. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. Ленинград. «Химия». 1987.
6. Кутенев В.Ф., Кисуленко Б.В., Шюте Ю.В. Экологическая безопасность автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Экология. Машиностроение. Москва. 2009. 253 с.
7. Кульчевский А.Р. Исследование процессов образования и разработки методов снижения выбросов вредных веществ с ОГ дизелей внедорожных машин. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Владимир. 2006.
8. Сайты компаний Eaton.ru, driver.ru, Emitec.com.
9. Шабанов А.А. Анализ возможности повышения эффективности ДВС за счет использования энергии выхлопных газов // Журнал ААИ, № 3 (104). 2017. С. 26–29.
10. Соломин В.А., Шабанов А.В., Шабанов А.А., Килушник В.М. Младенский А.В. Анализ методов и средств экологического контроля окружающей среды от воздействия выбросов вредных веществ отработавших газов автомобилей // Известия МГТУ МАМИ, № 4 (30). 2016. С. 82–89.
11. Правила № 49 ООН. Единые предписания, касающиеся подлежащих принятию мер по

ограничению выбросов загрязняющих газообразных веществ и взвешенных частиц двигателями с воспламенением от сжатия и двигателями с принудительным зажиганием, предназначенными для использования на транспортных средствах: поправки серии 06 ООН.

References

1. Solomin V.A., Shabanov A.V., Shabanov A.A., Seleznev A.A. On the reduction of nitric oxide in the exhaust gases of a gasoline engine by adjusting the composition of the air-fuel mixture and the subsequent neutralization of the combustion products in the catalytic converter. *Automotive industry*. 2018. No 6.
2. Solomin V.A., Shabanov A.V., Shabanov A.A., Kilushnik V.M. Mladensky A.V. On the issue of improving the efficiency of the catalytic converter. *Izvestia MGTU MAMI*, 2017. No 1 (31), pp. 63–70.
3. Kozlov A.V., Terenchenko A.S., Vasilyev A.V. Analysis of the environmental requirements of Euro-6. *AAI magazine*. 2017. No 3 (104).
4. Weissblum, M.E. New trends in the development of UN requirements with regard to environmental performance of ATS and the engines installed on them. *AAI Magazine*. 2011. No 3 (68).
5. Grushko Ya.M. Directory. Harmful inorganic compounds in industrial emissions into the atmosphere. Leningrad. "Chemistry". 1987.
6. V.F.Kutenev, B.V. Kisulenko, Yu.V.Shyute. Ecological safety of cars with internal combustion engines. Ecology. Engineering. Moscow. 2009. 253 p.
7. Kulchevsky A.R. Study of the processes of education and the development of methods for reducing emissions of harmful substances from exhaust gases of diesel engines of off-road vehicles Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences. Vladimir. 2006.
8. Sites of companies Eaton.ru, driver.ru, Emitec.com.
9. Shabanov A.A. Analysis of the possibility of improving the efficiency of internal combustion engines through the use of energy of exhaust gases. *Journal AAI*, 2017. No 3(104), pp. 26–29.
10. Solomin V.A., Shabanov A.V., Shabanov A.A., Kilushnik V.M. Mladensky A.V. Analysis of methods and means of environmental control from the effects of emissions of harmful substances from exhaust gases of automobiles. *Izvestia MGTU MAMI*, 2016. No 4 (30). pp. 82–89.
11. UN Regulation No. 49. Uniform provisions concerning the measures to be taken to limit emissions of polluting gaseous substances and suspended particles by compression-ignition and forced-ignition engines for use on vehicles: UN 06 series of amendments.

THE WAY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF THE NEUTRALIZATION SYSTEM OF NITROGEN OXIDES OF DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND ITS EFFICIENCY

Ph.D. **A.V. Shabanov**¹, **V.A. Solomin**¹, **A.A. Shabanov**²

¹Central scientific research automobile and automotive engine institute "NAMI" Testing Centre, Moscow, Russia

²Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia

saaha-1955@mail.ru

The article analyzes the work of the neutralization systems of nitrogen oxides used on modern trucks with diesel ICE. It is stated that the modern development of technologies for electronic fuel injection and catalytic neutralization of combustion products provides an opportunity to implement the processes of neutralization of nitrogen oxides with an efficiency up to 90 %. The most effective method to reduce the exhaust emissions of diesel engines is to purify exhaust gases in the car exhaust system using the SCR-NH₃ method. A significant drawback of this system is the presence of a toxic substance ammonia regulated by Regulation No. 49-06. Regulation No. 49-06 provides for the control in operation of emissions of nitrogen oxides by the on-board diagnostics system by introducing emission limit values, but monitoring of ammonia emissions in operation is not provided.

It is noted that the state sanitary standards of the Russian Federation and the environmental monitoring service, prescribe in regulatory documents the control of the limit of emissions of harmful substances of ammonia and nitrogen oxides with MPCss 0,04 mg/m³. Thus, an identical approach to limiting these emissions is provided. In order for the purification system to function effectively with ammonia and to support the neutralization reaction, it is necessary to adjust the purification system and maintain the optimum temperature range of operation.

It is noted that to ensure a high activity of reduction reactions, it is necessary to adjust the cleaning system and maintain the optimum temperature range of operation, the temperature is about 350–550 °C. In this regard, the possibility of refining the neutralization system by the injection of urea into the cylinder of an internal combustion engine at the expansion stroke to neutralize nitrogen oxides and reduce ammonia emissions, as well as to increase the efficiency of a diesel engine, using the heat of exhaust gases by creating high pressure in the working cylinder work and boost pressure.

When dosing urea solution having a high heat capacity through the nozzle and the subsequent process of expansion of exhaust gases, the temperature value in the cylinder of the internal combustion engine reaches the required value for the reduction reaction. High temperature, ensuring the removal of the reaction products, contributes to the high efficiency of maintaining the process of neutralization of NO_x. Intra-cylinder cooling of the engine with urea-injected water solves the problem of thermal stress of the parts of the cylinder-piston group of a highly forced internal combustion engine without a significant increase in heat loss of the internal combustion engine.

Keywords: SCR-NH₃ purification systems, diesel ICE, urea injection, ICE efficiency increase, emissions of nitrogen oxides and ammonia, maximum permissible concentrations.