

УДК 621.436

УМЕНЬШЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТРАНСПОРТНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПУТЕМ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОКСИДОВ АЗОТА

©2009 С. Г. Фролов¹, А. Д. Росляков²

¹ Самарский государственный университет путей сообщения

² ОАО «Моторостроитель»

Основными токсичными компонентами отработавших газов двигателей являются оксиды азота. Одним из наиболее распространенных методов снижения токсичности дизелей является метод некаталитического восстановления NO_x аммиаком. Разработана методика расчета конструктивных размеров нейтрализатора с учетом особенностей тепловозных дизелей.

Отработавшие газы транспортных дизелей, оксиды азота, метод некаталитического восстановления аммиаком, методика расчета конструктивных размеров нейтрализатора

Проблема снижения загрязнения природной среды давно перешагнула границы отдельных государств и даже целых континентов, приобрела международный характер и стала общей для всех стран мира. Вредные вещества, попадающие в атмосферу, разносятся воздушными потоками на огромные пространства, не считаясь с государственными границами. Транспортные двигатели играют существенную роль в загрязнении окружающей среды. В крупных городах они являются одним из главных источников токсичных веществ.

По своей природе отработавшие газы (ОГ) двигателей внутреннего сгорания представляют собой сложную многокомпонентную смесь газов, паров, капель жидкостей и дисперсных твердых частиц. В своем составе они содержат около 300 веществ, большинство из которых токсичны.

На железнодорожном транспорте дизельный тяговый подвижной состав ежегодно потребляет 12,6 млн т дизельного топлива и выбрасывает в атмосферу 1,9 млн т вредных веществ.

Основными нормируемыми токсичными компонентами ОГ двигателей являются оксиды углерода, азота и углеводороды. Среди перечисленных загрязняющих веществ особую опасность для атмосферы представляют оксиды азота, главным образом монооксид и диоксид,

содержащиеся в отработавших газах в количестве 0,02...0,05 % по объему или 0,04...1,02 г/м³ по массе. По действию на организм человека оксиды азота более опасны, чем оксид углерода [1].

Режимы работы тепловозных дизелей обычно задают позицией контроллера машиниста. В соответствии с методикой проведения экологических испытаний на пункте экологического контроля для маневровых тепловозов измерение вредных выбросов выполняют на 0, 2, 4, 6 и 8 позициях контроллера машиниста, а для магистральных тепловозов – на 0, 4, 7(8), 11(12) и 15 позициях контроллера машиниста [2].

Значения норм и некоторые фактические значения выбросов оксидов азота магистральных и маневровых тепловозов с дизелями 10Д100 и ПД1М соответственно приведены в табл. 1.

Как следует из табл. 1, имеет место высокий уровень фактических значений, а в некоторых случаях и превышение норм выбросов оксидов азота тепловозными дизелями.

В настоящее время в локомотивных депо сети дорог активно проводятся работы по организации и оснащению пунктов экологического контроля, предназначенные для экспериментальной оценки воздействия локомотивов на окружающую среду.

Таблица 1 - Нормы и некоторые фактические значения выбросов оксидов азота в кг/ч тепловозов с дизелями 10Д100 и ПД1М

Тип дизеля	Режим	0,02N	0,25N	0,5N	0,75N	N
10Д100	NO _x -норма	-	16,2	42,0	63,8	90,9
	NO _x –фактич.	0,29	14,37	27,32	40,1	67,88
ПД1М	NO _x -норма	-	6,2	15,5	20,6	31,1
	NO _x – фактич.	0,11	4,67	15,5	27,1	41,63

Задача снижения выбросов экологически опасных веществ тепловозными дизелями может быть решена только комплексом мероприятий, направленных на совершенствование конструкции дизеля, совершенствование системы технического обслуживания и ремонта дизелей, учет условий эксплуатации, повышение качества дизельного топлива и масла, создание многофункциональных присадок к топливу, применение альтернативных видов топлива. Таким образом, все мероприятия можно условно разделить на три группы: конструктивные, эксплуатационные, химико-технологические.

Конструкция двигателя в значительной степени предопределяет токсичность его отработавших газов. К наиболее значимым конструктивным факторам следует отнести способ смесеобразования и тип камеры сгорания, рабочий объем цилиндра и степень сжатия, уровень форсирования двигателя, параметры воздушного заряда и системы охлаждения, конструкцию систем топливоподачи, газораспределения, рециркуляции отработавших газов, наличие устройств и систем очистки отработавших газов. Не менее значимым фактором влияния на экологические показатели дизелей являются законы управления параметрами дизеля (цикловой подачей топлива, углом опережения подачи топлива, законом подачи топлива, давлением впрыскивания, параметрами наддувочного воздуха, фазами газораспределения, рециркуляцией отработавших газов и др.), формируемые перечисленными системами двигателя. Изменение и корректировка этих законов управления возможны при оснащении дизелей электронными системами управления.

При оптимизации перечисленных конструктивных факторов и закона управления параметрами обеспечивается улучшение качества рабочего процесса в широком диапазоне режимов работы двигателя и, как следствие, снижение токсичности его отработавших газов. Снижение токсичности отработавших газов дизелей достигается и при установке в выпускной системе дополнительных технических средств, обеспечивающих физико-химическую очистку отработавших газов. К этому направлению снижения токсичности относится применение нейтрализаторов и фильтров различной конструкции.

Существующие методы восстановления, несмотря на их различия и специфики воздействия на оксиды азота NO_x , имеют общие недостатки: используемые для нейтрализации каталитические наполнители требуют замены или восстановления, что усложняет их эксплуатацию и увеличивает стоимость процесса нейтрализации; сложность и увеличенные габариты конструкций не позволяют применить данные способы на мобильных энергетических установках. В связи с этим перечисленные методы не нашли широкого применения. Использование их в транспортной технике требует дальнейшего усовершенствования и доработки для каждого конкретного типа двигателя. Одним из наиболее перспективных методов снижения токсичности ОГ транспортных дизелей является метод некаталитического восстановления NO_x аммиаком, который нашел применение в снижении токсичности промышленных выбросов при сжигании топлива.

Установленные зависимости процесса восстановления оксидов азота показывают, что метод очистки экологически безопасен и высокоэффективен, степень восстановления NO_x может достигать 90%. Кроме того, данный способ не требует использования дорогостоящих катализаторов и не представляет сложности в применении его на транспортной технике благодаря своей простоте реализации.

Но для применения некаталитического селективного восстановления NO_x необходимо разрешить ряд задач. Первое - это определить и поддержать оптимальные значения режимных параметров восстановления, в том числе исключить возможный пророскок непрореагировавшего аммиака. Второе, имеющее важнейшее значение при реализации данного процесса, - это создание оптимальных условий для смешения малых объемов газа-восстановителя с потоком ОГ. Различие в соотношениях этих объемов, как правило, составляет несколько порядков, поэтому задача достижения высокой степени гомогенизации смешивающихся потоков за минимальный промежуток времени является одной из определяющих для обеспечения высокой эффективности очистки и применения данного способа восстановления NO_x в

ОГ дизеля.

С целью расчета оптимальных конструктивных размеров нейтрализатора NO_x на кафедре «Локомотивы» Самарского государственного университета путей сообщения была разработана методика расчета конструктивных размеров нейтрализатора с учетом особенностей тепловозных дизелей. Целью данной методики расчета является определение оптимального сочетания исходных параметров на входе в нейтрализатор (расход, давление, скорость и температура отработавших газов, которые зависят от режима работы дизеля) и основных размеров конструкции (диаметр сопла, диаметр цилиндрической смесительной камеры, площади цилиндрического кольцевого канала), обеспечивающего функционирование устройства в составе конкретного тепловозного дизеля.

При определении основных размеров конструкции нейтрализатора, учитывались необходимость:

- обеспечения достаточной степени гомогенизации газовых потоков в устройстве;
- обеспечения работы канала рециркуляции.

Канал рециркуляции обеспечивает увеличение доли общего времени пребывания газов в устройстве и как следствие повышает степень восстановления оксидов азота в ОГ.

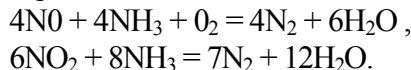
Система нейтрализации оксидов азота, в которой используется аммиачная вода, состоит из следующих основных элементов:

- емкость для хранения аммиачной воды;
- насос-дозатор для впрыска аммиачной воды под высоким давлением;
- инжекторная решетка с соплами для впрыска аммиачной воды в горячий поток выхлопного газа под высоким давлением;
- смеситель, устанавливаемый в потоке выхлопного газа для однородного перемешивания испарившейся аммиачной воды с горячим газом выхлопа;
 - анализатор NO_x ;
 - контроллер расхода и оборудования для регулирования подачи аммиачной воды, осуществляемого на основании данных о действующей нагрузке двигателя (расходе газа выхлопа) и содержания NO_x на

входе в реактор и на выходе из реактора.

Аммиачная вода содержится в емкости (емкостях) хранения при температуре окружающей среды и атмосферном давлении. Из емкости хранения аммиачная вода подается насосом, оборудованным устройствами для измерения расхода на инжекторную систему форсунок, работающих под высоким давлением. Через эту систему аммиачная вода впрыскивается непосредственно в горячий поток газа. Статический смеситель, находящийся в газоходе, обеспечивает однородное перемешивание дымового газа, образовавшегося в результате испарения аммиачной воды и паров NH_3 . Важно получить однородную смесь с тем, чтобы обеспечить высокую эффективность процесса СКВ и минимизировать проскок NH_3 (содержание непрореагировавшего NH_3) на выходе из реактора.

Далее смесь аммиак - выхлопной газ проходит через камеру, в которой оксиды азота превращаются в азот и водяной пар. Оксиды азота, которые в основном состоят из NO и NO_2 , конвертируются согласно следующим схемам реакции:



Как видно из вышеприведенных схем, конверсия оксидов азота не создает вторичных загрязнителей, так как продуктами реакции являются только азот и водяной пар, которые уже присутствуют в атмосфере в больших количествах.

Управление расходом подачи аммиачной воды осуществляется путем соответствующего изменения скорости вращения насоса-дозатора аммиачной воды.

Однако, так как потребление аммиачной воды зависит от действующей нагрузки двигателя, компьютер, управляющий процессом, постоянно задает установочную точку в зависимости от сигнала по нагрузке двигателя (обычно на основании данных по расходу топлива). Зависимость между требуемой подачей аммиачной воды и нагрузкой двигателя предварительно определяется путем проведения ручной регулировки подачи аммиачной воды при различных нагрузках двигателя и стабильных условиях до тех пор, пока не достигается требуемая концентрация NO_x на выходе из реактора. Эти данные хранятся

в компьютере процесса в виде кривых зависимости концентрации NO_x от нагрузки, выполненных по точкам с большим разрешением. С их помощью задаются установочные точки компьютера. Как правило, указанные кривые выполняются в диапазоне от 25 до 110% от нагрузки двигателя с интервалами в 1%.

Так как эмиссия NO_x от дизельных двигателей в определенном отношении также зависит от изменения условий окружающей среды (барометрическое давление, температура), температуры охлаждающей воды, реальных условий работы камер сгорания цилиндров и т.д., в контур управления включен сигнал обратной связи для компенсации вышеуказанных влияний.

В любой момент, когда измеренная реальная концентрация NO_x на выходе из реактора отличается от величины установочной точки, сигнал обратной связи корректирует соответствующим образом установочную точку контроллера.

Система окислительного нейтрализатора не имеет особой сложности. Управляющий блок автоматически сопоставляет полученные данные с датчиков. Система оснащена жидкостным насосом, который закачивает мочевины из бака и создает необходимое давление. В случае его превышения установлен обратный клапан с возвратом в бак с мочевиной. Давление, необходимое в системе, должно составлять 0,3...0,6 МПа. Может быть применен серийный насос с электроприводом для систем с электронным впрыском топлива.

Газовоздушный поток, проходя через форсунку, смешивается с мочевиной и впрыскивается в выхлопную трубу в виде облака капель. Мочевина является достаточно распространенным и недорогим продуктом, который при нагреве выделяет аммиак, тот в свою очередь расщепляет окислы азота на азот и кислород, которые не представляют опасности для окружающей среды. За расходом мочевины следит контроллер впрыска, работающий с учетом параметров работы двигателя, получаемых от основного электронного блока.

Расход мочевины составляет $3,5\text{см}^3$ на 1 литр топлива. Химический процесс протекает непосредственно в глушителе выпускной системы.

В ходе процесса происходит реакция

окисления азота NO и NO_2 с мочевиной NH_3 , в результате получаем безвредный азот и водяной пар. Дополнительно водяной пар, выходя из глушителя, связывает между собой механические примеси сажи, тем самым утяжеляя их, не позволяя подниматься в воздушное пространство.

Выполнен расчет потребляемых компонентов для работы окислительного нейтрализатора. Для осуществления нормальной работы системы необходимы два основных компонента, которые позволят достаточно полно входить в реакцию окисления азота:

Определяем необходимое количество мочевины. Исходим из того что нормальная горючая смесь при коэффициенте расхода воздуха равном 1 имеет пропорцию 1:15, т.е. для углеводородного топлива примерно на 1 кг топлива необходимо 15 кг воздуха. Так как в воздухе 71,2% азота, то при сжигании 1 кг топлива с воздухом поступает следующее количество азота.

$$M_a = (m_b \cdot m_a) / 100, \text{ кг},$$

где M_a – масса азота, кг;

m_a – массовая доля азота в 1 кг воздуха;

m_b – масса воздуха, кг;

$$M_a = (15 \cdot 71,2) / 100 = 10,62 \text{ кг}.$$

Определяем количество оксидов азота, поступающего в выпускную систему. Среди оксидов азота наибольшую часть занимают NO и NO_2 , процент содержания их около 93% .

Средние выбросы оксидов азота дизельными двигателями тепловозных дизелей составляют 11,7 г/(кВт·ч) [1]. Номинальная мощность магистрального тепловоза составляет 2020 кВт·ч, а маневрового 740 кВт·ч. Следовательно, выбросы оксидов азота дизельными двигателями тепловозных дизелей магистральных тепловозов составляют на номинальном режиме 25,7 кг/ч, а маневровых – 8,7 кг/ч.

Согласно химическим реакциям, для расщепления 0,1кг NO_x необходимо 0,0041кг мочевины.

Учитывая вышеизложенное и используя пропорцию, получим необходимое количество мочевины для выполнения реакции с NO_x при нейтрализации оксидов азота:

$$m_M = (m_a \cdot m_{M 0,1}) / 0,1, \text{ кг},$$

где m_M – масса мочевины;

$m_{M 0,1}$ – масса мочевины необходимая для реакции с 0,1кг NO_x ;

m_a – выбросы оксидов азота дизельными

ми двигателями тепловозных дизелей.

Для магистральных тепловозов:

$$m_M = (25,7 \cdot 0,0041) / 0,1 = 1,05 \text{ кг/ч};$$

для маневровых тепловозов

$$m_M = (8,7 \cdot 0,0041) / 0,1 = 0,35 \text{ кг/ч}.$$

Средний расход топлива на номинальном режиме для магистральных тепловозов составляет 840 кг/ч, а маневровых 340 кг/ч. Исходя из вышеприведенных расчетных оценок, получаем, что расходы мочевины, а следовательно, и емкости бака для её хранения, должны быть на два порядка меньше, чем емкости топливных баков.

Библиографический список

1. Носырев, Д.Я. Выбросы вредных веществ локомотивными энергетическими установками: монография / Д.Я. Носырев [и др.]. – М.: Маршрут, 2006. – 248 с.

2. Экологическая безопасность тепловозных дизелей в эксплуатации: учеб. пособие для студентов специальности 150700 – Ло-

комотивы / Д.Я. Носырев [и др.]. – Самара: СамГАПС, 2004. – 139 с.

3. Теплофизические свойства аммиака / И.Ф. Голубев [и др.]. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 264 с.

References

1. Nosyrev D.J., Skachkova E.A., Rosljakov A.D. emission of harmful substances locomotive power installations: the Monography. – M: the Route, 2006. – 248 with.

2. Ecological safety of diesel diesel engines in operation: the Manual for students of a speciality 150700 – Locomotives / D.JA. Nosyrev, E.I. Skovorodnikov, E.A. Skachkova, A.D. Rosljakov – Samara: Samara State University of Railway Transport, 2004. 139 with.

3. Teplofizichesky properties of ammonia. Golubev I.F., Kijashova V. P, Perelshtejn I.I., Parushin E.B. of TH.: Standards Publishing House, 1978. – 264 with.

DECREASE IN TOXICITY OF TRANSPORT DIESEL ENGINES BY NEUTRALISATION NITROGEN OXIDE OF THE FULFILLED GASES

©2009 S. G. Frolov¹, A. D. Rosljakov²

¹Samara State University of Railway Transport

²JSC «Motorstroitel»

The basic toxic components of the fulfilled gases of engines are nitrogen oxide. One of the most perspective methods of decrease in toxicity of diesel engines is the method not catalytic reaction restoration NO_x by ammonia. The design procedure of the constructive sizes of neutralizer taking into account features of diesel engines is developed.

The fulfilled gases of transport diesel engines, nitrogen oxide, a method not catalyzed restoration by ammonia, a design procedure of the constructive sizes of neutralizer

Информация об авторах

Фролов Сергей Геннадьевич, аспирант Самарского государственного университета путей сообщения. Тел. (846) 999-01-84. Область научных интересов: тепловые двигатели, экология.

Росляков Алексей Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, главный специалист ОАО «Моторостроитель». Тел. (846) 261-12-01. Область научных интересов: тепловые двигатели, диагностика.

Frolov Sergey Gennadievich, post-graduate student of Samara State University of Railway Transport. Address: 443115 Samara, Litvinov str. 33. Pyone: (846) 999-01-84. Area of research: Heat engines.

Roslyakov Alexey Dmitrievich, Doctor of Engineering Science, professor, chief specialist of JSC «Motorstroitel». Address: 443023 Samara, str. Promyshlennosty 281-34. Phone. (846) 261-12-01. Area of research: Heat engines, diagnostics.