

УДК 621.43.068.4

UDC 621.43.068.4

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

MODERN METHODS AND FACILITIES OF DECLINE OF TOXIC LEVEL OF WORKING GASES OF DIESEL ENGINES

Оберемок Виктор Алексеевич
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код = 6469-6072
E-mail: Oberemok56@yandex.ru

Oberemok Victor Alekseevich
Cand.Tech.Sci., assistant professor
RSCI SPIN-code = 6469-6072
E-mail: Oberemok56@yandex.ru

Жученко Александр Васильевич
к.т.н., доцент
РИНЦ SPIN-код=3708-1757
E-mail:alex.zuch@mail.ru

Zhuchenko Alexander Vasilevich
Cand.Tech.Sci., assistant professor
RSCI SPIN-code = 3708-1757
E-mail: alex.zuch@mail.ru

Аванесян Андрей Михайлович
ассистент
РИНЦ SPIN-код = 7559-7264
E-mail: Avanesyan.andrej@ yandex.ru

Avanesyan Andrey Mikhaylovich
assistant
RSCI SPIN-code = 7559-7264
E-mail: Avanesyan.andrej@ yandex.ru

Аукин Александр Андреевич
магистр
E-mail: aukin94@bk.ru
Азово-Черноморский инженерный институт - филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» г. Зерноград Ростовской области, Россия

Aukin Alexander Andreevich
master's degree
E-mail: aukin94@bk.ru
Azov-Black Sea engineering institute of the Don state agrarian university, Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Проблема охраны окружающей среды от загрязнения токсичными продуктами, содержащихся в отработавших газах, является одной из наиболее актуальных в современном мире. В настоящее время в мировом энергетическом балансе первое место по выработке мощности стоят двигатели внутреннего сгорания транспортных и транспортно-технологических машин. Общее количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу автотракторной техникой, более чем в три раза превосходит выбросы промышленных предприятий. При этом подавляющее большинство гусеничных и колёсных машин комплектуются дизельными двигателями, превосходящими бензиновые двигатели по выбросу вредных веществ с отработавшими газами. Поэтому проблема снижения токсичности отработавших газов становится всё более актуальной. Целью настоящей работы являлась анализ современных средств и методов снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей. Существующие направления снижения токсичности отработавших газов условно можно разбить на четыре группы: совершенствование конструкции ДВС; учёт эксплуатационных факторов, влияющих на токсичность отработавших газов; применение нетрадиционных топлив; очистка отработавших газов в выпускной трубе. В каждом направлении выделено несколько основных спо-

The problem of environmental protection from toxic contamination, i.e. toxic products contained in exhaust gases, is one of the most pressing in the modern world. Currently, internal combustion engines and vehicles of transport and technological machines rank first in power supply in the global energy balance. The total amount of pollutants released into the atmosphere by tank-automotive equipment exceeds more than three times the emissions released by industrial companies. Besides the vast majority of tracked and wheeled vehicles are equipped with diesel engines, which excel gasoline engines in harmful substances released together with exhaust gases. Therefore the problem of emission control becomes more and more urgent. The aim of this study is the analysis of modern means and methods of reducing the toxicity of exhaust gases released by diesel engines. The existing methods of emission control can be divided into four groups: improving the design of the internal combustion engine; the accounting of operational factors affecting the toxicity of exhaust gases; the use of unconventional fuels; the exhaust gases cleaning in the exhaust pipe. Each method has several major ways to reduce the emission of toxic substances, which are often mutually complementary. We have cited the research date of influencing each of the methods on the emissions of toxic substances in exhaust gases. We have found that reducing the emission of toxic substances in compliance with Euro-6 requirements can only be obtained by the simul-

способов снижения эмиссии токсичных веществ, зачастую дополняющих друг друга. Приведены данные исследований влияния каждого из способов на эмиссию токсичных веществ с отработавшими газами. Установлено, что снижение эмиссии токсичных веществ до уровня требований Евро-6, может быть получено только при одновременном использовании нескольких способов снижения токсичности отработавших газов. Обоснована эффективность и экономическая целесообразность использования для очистки отработавших газов комбинированных нейтрализаторов

Ключевые слова: ДИЗЕЛЬ, ТОКСИЧНОСТЬ, ОТРАБОТАВШИЕ ГАЗЫ, АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО; ЭТАНОЛО-ТОПЛИВНАЯ ЭМУЛЬСИЯ; МЕТАНОЛО-ТОПЛИВНАЯ ЭМУЛЬСИЯ; НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ

taneous use of several methods of reducing emissions. We have proved the effectiveness and economic feasibility of using combined neutralizers to clean exhaust gases

Keywords: DIESEL, TOXICITY, EXHAUST GASES, ALTERNATIVE FUEL, ETHANOL AND FUEL EMULSION, METHANOL AND FUEL EMULSION, NEUTRALIZERS

В мировом энергетическом балансе первое место по выработке мощности стоят двигатели внутреннего сгорания транспортных и транспортно-технологических машин. При этом до 96% парка гусеничных и до 67% парка колёсных машин комплектуются дизелями двигателями, превосходящими бензиновые двигатели по эмиссии вредных веществ [1]. Общее количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу автотракторной техникой, более чем в три раза превосходит выбросы промышленных предприятий.

Поэтому вопросы снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей становятся всё более актуальными.

В настоящее время существуют несколько направлений уменьшения токсичности отработавших газов. Их условно можно разбить на четыре группы: совершенствование конструкции двигателей внутреннего сгорания; учет эксплуатационных факторов, влияющих на токсичность отработавших газов; применение нетрадиционных топлив; очистка отработавших газов в выпускной трубе (рис. 1).

В каждом направлении можно выделить несколько основных способов снижения токсичности отработавших газов, зачастую дополняющих друг друга [2].

Совершенствование конструкции двигателей движется по пяти основным направлениям: совершенствование конструкции топливной системы, оптимизация смесеобразования и камеры сгорания, совершенствование конструкции ЦПГ, оптимизация параметров воздушного заряда и систем охлаждения, совершенствование систем воздушного снабжения.

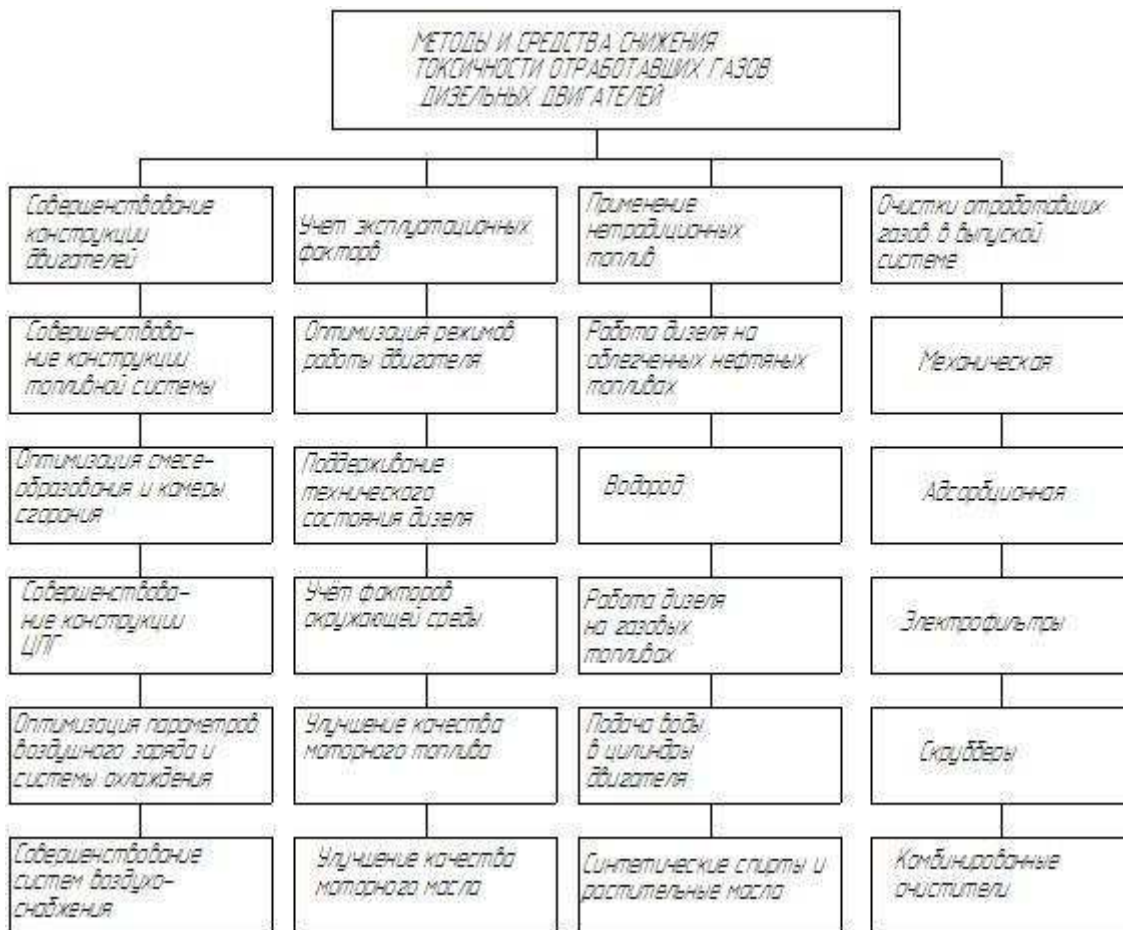


Рисунок 1 – Основные средства и методы снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей

Наиболее значительное влияние на экологические и топливно-экономические показатели двигателя оказывает топливная аппаратура. По данным работы [3] степень влияния топливной аппаратуры на токсичность отработавших газов составляет 35%.

Это объясняется тем, что основная масса токсичных компонентов отработавших газов представляет собой продукты горения топливозвдушной смеси. В то же время, характер протекания процесса горения

определяется качеством процесса топливоподачи, распыливания и смесеобразования. Решение проблемы снижения токсичности отработавших газов достигается оптимизацией величины коэффициента избытка воздуха на каждом нагрузочном и скоростном режимах работы дизеля, повышением давления впрыска топлива, улучшением качества распыла топлива. Одними из направлений снижения токсичности отработавших газов является управление углом опережения впрыска топлива и управление законом подачи топлива.

Каждое из перечисленных направлений имеет свои преимущества и недостатки и не даёт однозначных положительных решений в области снижения токсичности отработавших газов и улучшения эксплуатационных характеристик двигателя. Так, по данным исследований [3], повышение давления впрыска топлива снижает содержание твёрдых частиц и увеличивает содержание оксидов азота в отработавших газах; предварительное впрыскивание топлива снижает содержание в отработавших газах оксидов азота, но повышает эмиссию твёрдых частиц.

С уменьшением угла опережения впрыска топлива снижаются время, отводимое на окисление продуктов горения и температура сгорания. Это приводит к снижению содержания в отработавших газах оксидов азота и повышению доли несгоревших углеводородов и сажи. На номинальном режиме работы двигателя его изменение на 1^0 поворота коленчатого вала приводит к изменению эмиссий токсичных веществ на 10...15% [3].

Исследования влияния параметров впрыска на экологичность работы дизеля показал, что для оптимизации процесса топливоподачи необходимо, чтобы в каждом нагрузочном и скоростном режимах отсутствовало подвпрыскивание топлива, обеспечивалась П-образная форма характеристики впрыскивания топлива при сохранении цикловой подачи и угла опережения впрыскивания.

Решение этой задачи обеспечивается разработкой схем топливной аппаратуры разделённого типа с электронным корректированием начального давления впрыска топлива в нагнетательной магистрали [3]. Примером решения данной задачи является разработка системы впрыска топлива Common Rail, позволяющая регулировать давление и момент начала впрыска топлива в широком диапазоне.

Одним из направлений совершенствования топливной системы дизельных двигателей является применение отдельной (двухфазной) системы топливоподачи. Конструктивное отличие таких систем заключается в наличии топливного аккумулятора и дополнительной форсунки, гидравлически связанной с топливопроводом высокого давления и впрыскивающей топливо во впускной трубопровод. Применение систем отдельной подачи топлива снижает расход топлива на 56%, дымность на 3-5%, содержание оксидов азота (NO_x) в отработавших газах на 60...70%.

Снижение токсичности отработавших газов достигается также обогащением воздушного заряда углеводородными активаторами (бензином, спиртами, биотопливом и др.). В настоящее время известны два основных способа обогащения воздушного заряда углеводородными активаторами: подача углеводородного активатора непосредственно в цилиндр двигателя и подача во впускной трубопровод. Подача углеводородных активаторов непосредственно в цилиндры двигателей осуществляется с помощью дополнительных топливного насоса высокого давления и форсунки. Недостатком такой схемы является высокая стоимость и необходимость изменения конструкции серийных двигателей.

Для подачи углеводородных активаторов во впускной трубопровод используются различные эжекционные устройства или устройства, выполненные в виде дозатора или карбюратора с дополнительной дроссельной и воздушной заслонкой. Основным недостатком существующих конструкций является сложность с обеспечением поддержания заданного процент-

ного соотношения дизельного топлива и активатора в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя.

Для устранения указанного недостатка была разработана система автоматического управления (САУ) подачей активатора во впускной трубопровод, состоящая из питающей и нагнетающей магистралей и электронного блока управления. Изменение количества подаваемого углеводородного активатора осуществляется посредством настройки электронного блока управления АСУ и электромагнитной форсунки.

Проведённые исследования показали, что при подаче в качестве активатора бензина АИ-92 в количестве 10% от часового расхода дизельного топлива, эффективная мощность повышается на 10%, удельный эффективный расход комплексного топлива уменьшается на 11%, дымность отработавших газов снижается на 6% [4].

В последние годы интенсивно ведутся работы по разработке систем рециркуляции отработавших газов. По данным исследований [5] применение последних на двигателях 4Ч 11/12,5 даёт снижение содержания оксидов азота до 65%, оксидов углерода и углеводородов до 20%.

Совершенствование систем воздухообеспечения осуществляется по двум основным направлениям: промежуточного охлаждения наддувочного воздуха между компрессором и впускным коллектором дизеля и рециркуляции отработавших газов. Последняя осуществляется с помощью электронных устройств и промежуточного охлаждения отработавших газов.

На практике возможно осуществление трёх основных способов охлаждения наддувочного воздуха: предварительного, внутреннего и внешнего, а также их возможных комбинаций. Предварительное охлаждение, как самостоятельный способ, практически не применяется.

Внутреннее охлаждение осуществляется по двум направлениям: впрыскиванием в поток воздуха между рабочими колёсами охлаждающей жидкости и отводом тепла от воздуха при его движении по направляющим

аппаратам ступеней. Реализация последнего способа сопряжена с увеличением размеров турбокомпрессора и в настоящее время применяется редко.

Впрыскивание охлаждающей жидкости в поток воздуха, при всех своих положительных показателях, имеет два существенных недостатка, сдерживающих широкую реализацию данного направления в нашей стране. Это необходимость тщательной предварительной очистки и точная дозировка впрыскиваемой воды.

Наибольшее распространение в нашей стране получил третий способ. При внешнем охлаждении воздух из неохлаждаемых секций турбокомпрессора отводится в специальный воздухоохладитель, откуда он поступает в следующую секцию.

Из комбинированных можно выделить способ охлаждения наддувочного воздуха, сочетающий предварительное и внешнее охлаждение в промежуточных охладителях, а также метод охлаждения за счёт контактного теплообмена с распыленной водой без её испарения [6].

Анализ выполненных работ показал, что современные способы охлаждения наддувочного воздуха не всегда обеспечивают снижение температуры воздуха до требуемого уровня. Решение данной задачи является существенным фактором для снижения токсичности отработавших газов.

Второе направление (учёт эксплуатационных факторов) включает в себя решение задач оптимизации режимов работы двигателя, поддержания его технического состояния, учёта параметров окружающей среды, улучшения качества горюче-смазочных материалов. Зачастую это направление тесно связано с совершенствованием конструкции и решает как экологические, так и топливно-экономические и другие проблемы ДВС. Так, корректирование законов управления топливоподачей и фазами газораспределения в зависимости от параметров окружающего воздуха и свойств применяемого топлива, позволяет не только снизить токсичность отработав-

ших газов, но и существенно повысить мощность и топливную экономичность двигателя.

Одним из направлений улучшения качества моторного топлива является разработка и внедрение молекулярных модификаторов моторного топлива. Назначение последних заключается в уменьшении коэффициента поверхностного натяжения и увеличения теплоты сгорания топлива [7]. В результате изменения химической структуры топлива лучше распыливается, повышается гомогенность топливо-воздушной смеси и качество её горения. В конечном итоге это приводит к уменьшению удельного расхода топлива и улучшению экологических показателей двигателя.

Третье направление заключается в применении различных альтернативных топлив – сжатого газа, метанола и других спиртов, топлив растительного происхождения и т.д. Наиболее широкое применение в качестве альтернативного топлива получили природный газ и низшие спирты (метанол и этанол), несколько реже водно-биотопливные и этано-топливные эмульсии. К наиболее перспективным из них можно отнести водород, синтетические топлива, биодизельное топливо, биогаз, биоэтанол и топлива, производимые из растительных масел [8].

Одним из перспективных направлений использования газообразного топлива является разработка систем питания с распределённой подачей газообразного топлива по эжекционному принципу. Испытания трактора К-700А с системой распределённой подачи газообразного топлива по эжекционному принципу показали снижение оксидов азота на 20%, суммарных углеводородов на 30%, окиси углерода на 10% в сравнении с дизельным циклом и серийно выпускаемой системой с центральной подачей газа СЭРГ-500 [9].

В качестве альтернативных видов топлива из возобновляемых источников энергии наиболее часто применяются метиловый и этиловый спирты в сочетании с растительными маслами. К недостаткам данного

направления является снижение мощностных показателей дизеля и усложнение конструкции топливной системы, обусловленное необходимостью применения двойной системы топливоподачи.

Широкое применение водно-топливных эмульсий ограничено снижением их смазывающей способности. Устранение этого недостатка достигается применением водно-биотопливной эмульсии (ВБТЭ) [10].

Технология получения водно-биотопливной эмульсии основана на многофакторном энергетическом воздействии в импульсной форме, которое интенсифицирует процесс смешивания топлив и улучшает физико-химические свойства топлива, его экологические и эксплуатационные свойства.

Испытания дизельного двигателя Д-245.12С показали, что использование водно-биотопливной эмульсии позволяет снизить выброс оксидов азота с отработавшими газами на режимах работы. Так, на режиме максимального крутящего момента при оборотах коленчатого вала двигателя $n = 1500$ об/мин переход двигателя с дизельного топлива на эмульсию с содержанием воды в 15% привёл к уменьшению содержания оксида азота в отработавших газах с 0,075% до 0,055% (26,7%), а на режиме максимальной мощности при $n = 2400$ об/мин с 0,0495 до 0,036% (27,3%). Одновременно снизилось содержание в отработавших и окиси углерода СО [10].

К недостаткам данного направления является снижение мощностных показателей двигателя и расслоение эмульсии после длительного хранения. Общим недостатком водорода, пропан-бутановых смесей, этанола, метанола и других видов нетрадиционных топлив является высокая стоимость производства, что не позволяет их использовать в полном объёме. Это полностью относится и к присадкам, добавляемым в топливо для более полного его сгорания.

Снижение токсичности отработавших газов при работе на биотопливах требует решения вопросов совершенствования конструкции дизелей,

таких как согласование конструкции форсунки с формой камеры сгорания, организация регулирования угла опережения впрыска топлива и фаз газораспределения в зависимости от свойств применяемого топлива, разработки и создания специальных устройств в виде смесителей, нагревателей, корректоров и др. Однако такие системы, как правило, не обеспечивают нормативные параметры топливоподачи при изменении вязкости и плотности топлива. Широкое использование биотоплива сдерживается также рядом недостатков, таких как коксуетость, расслоение на исходные составляющие и потеря эффективной мощности. Повышение эффективности биотоплива путём его дополнительной обработки (ультразвуком) требует изменения конструкции серийных двигателей.

Следует отметить, что, несмотря на большой объём выполненных исследований, проблема использования растительных масел в качестве топлива для дизелей изучена недостаточно.

Добавка воды в цилиндры двигателя способствует охлаждению воздушного заряда, что приводит к снижению выбросов оксидов азота, являющихся наряду с сажей наиболее токсичным компонентом отработавших газов. Особенно актуально это для сельскохозяйственных тракторов, работающих на режимах высоких нагрузок.

Существует два наиболее распространённых способа подачи воды в камеру сгорания – подача воды с воздухом и подача воды в виде водотопливной эмульсии.

Как отмечают в работе [11] подача воды с воздухом является более предпочтительной, ввиду меньшего роста концентрации углеводородов и монооксидов углерода и более эффективного снижения тепловой напряженности цилиндров.

Анализ результатов исследований показал, что за счёт впрыскивания воды во впускной коллектор и в систему рециркуляции отработанных га-

зов эмиссия окиси углерода снижается на 40...60%, оксидов азота на 20...30%. Снижение дымности достигает 8...10% [12].

При добавках воды с топливом содержание оксидов азота снижается до 82%, углеводородов повышается до 64%, монооксидов углерода до 76%, а содержание сажи снижается до 39% на низких нагрузках. При высоких нагрузках доля содержания оксидов азота снижается до 58%, углеводороды повышаются до 50%, монооксиды углерода до 57% и сажа до 38% [11]. Широкое применение данного способа в двигателестроении сдерживается повышением сажи в отработавших газах при высоких нагрузках.

С принятием норм Евро-5, существенно повысивших требования к эмиссии токсичных веществ, выпускные системы дизелей стали комплектоваться системами очистки отработавших газов.

Последние можно разбить на шесть основных групп: механические, инерционные, скрубберы, электрофильтры, адсорбционные и комбинированные очистители. У нейтрализаторов отработавших газов есть целый ряд существенных недостатков:

- термические нейтрализаторы приводят к снижению мощности двигателя и увеличению расхода топлива;
- жидкостные нейтрализаторы требуют больших затрат времени на ежедневное обслуживание из-за необходимости промывки системы подачи топлива и удаления шлака;
- каталитические нейтрализаторы, изготовленные на основе окислов кобальта, ванадия, никеля, палладия обладают высокой стоимостью.

В настоящее время становятся актуальны сажевые фильтры, работающие по принципу инерционной и диффузионной задержки частиц с помощью фильтрующих материалов. Их основной недостаток – быстрая забиваемость.

Анализ работ в области конструирования нейтрализаторов отработавших газов показывает, что наиболее эффективно применение комбинированных средств очистки, включающих, как правило, механический, термический и каталитический способы очистки [13]. Согласно исследованиям, проведенным учёными Тамбовского ГТУ [14], применение комбинированных устройств для очистки отработавших газов позволяет снизить содержание в отработавших газах окиси углерода CO с 3,71 до 1,48 г/кВтч, суммарных углеводородов C_nH_x с 0,46 до 0,25 г/кВтч, оксидов азота NO_x с 4,31 до 1,94 г/кВтч, сажи с 0,38 до 0,076 г/кВтч и удовлетворить требованиям Евро-V по этим показателям.

К недостаткам таких нейтрализаторов можно отнести высокую стоимость катализаторов, а также быструю забиваемость катализатора сажевыми частицами и снижение эффективности очистки отработавших газов.

Анализ средств и методов снижения токсичности отработавших газов позволяет сделать следующие выводы.

1. Принимаемые сегодня меры по снижению эмиссии токсичных веществ с отработавшими газами снижают темп загрязнения почвы и окружающей среды, но не останавливают его.

2. Мероприятия, направленные на снижение токсичности отработавших газов за счет изменения конструкции серийных двигателей, а также применения альтернативных топлив, в условиях экономического кризиса нереальны.

3. Использование альтернативных биотоплив приводит к увеличению содержания в отработавших газах ультратонких частиц, устранение которых требует специальных устройств для их коагуляции и осаждения. [15].

4. Применение специальных антитоксичных регулировок и альтернативных топлив снижает токсичность отработанных газов, но, как правило, приводят к ухудшению технико-экономических показателей двигателей.

5. Для соблюдения норм выброса оксидов азота при существующем уровне технологии двигателестроения, необходимо использование сложных и дорогостоящих систем рециркуляции отработавших газов и устанавливать впрыск в систему нейтрализации отработавших газов раствора AdBlue. Однако для условий Российской Федерации применение данного способа требует установки дополнительной системы подогрева раствора.

6. Наиболее перспективным направлением снижения выброса токсичных веществ с отработавшими газами, является применение комбинированных сажевых фильтров, устанавливаемых в выпускной системе. Однако они не в полной мере отвечают требованиям Евро-5 и Евро-6 по содержанию токсичных веществ в отработавших газах и требуют разработки принципиально новых методов решения поставленных задач.

Литература

1. Амбарцумян, В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В.В. Амбарцумян, В.Б. Носогорбунов, В.И. Тагасов, // Москва: Издательство «Научтехлитиздат», 1999. – 205 с.

2. Горбунов, В.В. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.В. Горбунов, Н.Н. Патрахальцев. – Москва: Издательство Российского университета дружбы народов, 1998. – 216 с.

3. Марков, В.А. Способ улучшения экологических показателей дизелей / В.А. Марков, М.А. Савельев, А.В. Селиванов // Автомобильная промышленность. -2014. - № 8. - С. 8-10.

4. Рачкин, В.А. Улучшение технико-эксплуатационных показателей тракторных дизелей применением комбинированной системы топливоподачи / В.А. Рачкин // Автореферат диссертации кандидата техн. наук. – Пенза: ФГОУ ВПО ПГСХА, 2005. – 22 с.

5. Петров, А.А. Снижение вредных выбросов тракторного дизеля 4Ч 11/12,5 путём рециркуляции отработавших газов / А.А. Петров // Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2006. – 27 с.

6. Кобелев, Н.С. Снижение энергозатрат при производстве сжатого воздуха для горных машин / Н.С. Кобелев // Известия Вузов. Геология и разведка. 1997. – №6. – С. 167-168.

7. Мурамович, В.Г. Молекулярный модификатор топлива как инструмент улучшения экономических и экологических показателей ДВС / В.Г. Мурамович, П.Ф. Анисимов, С.В. Туев // Автомобильная промышленность. - 2012. - №4. – С. 26-28.

8. Марков, В.А. Исследование работы дизеля на смесях дизельного топлива и соевого масла / В.А. Марков, С.Н. Девянин, В.А. Неверов // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №11. – С. 3-9.

9. Нигматулин, И.Д. Исследование эксплуатационно-технологических показателей работы сельскохозяйственных тракторов, оснащенных газобаллонным оборудовани-

ем / И.Д. Нигматулин // Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Саратов: ФГОУ ВПО Саратовский ГАУ, 2014. – 21 с.

10. Улучшение экологических характеристик дизельного двигателя при работе на водно-биотопливной эмульсии / В.А. Марков, С.Н. Девянин, С.А. Нагорнов, Е.Ю. Левина // Тракторы и сельхозмашины. - 2015. -№ 11. – С.3-6.

11. Бижаев, А.В. Повышение экологической безопасности тракторного дизеля добавкой воды в цилиндры / А.В. Бижаев // Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА, 2016. – 19 с.

12. Сторожев, И.И. Повышение топливной экономичности тракторов МТЗ-80/82 на сельскохозяйственных работах за счёт использования водно-воздушной смеси /И.И. Сторожев // Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Челябинск: ФГОУ ВПО Челябинский ГАА, 2011. – 24 с.

13. Чернецов, Д.А. Оптимизация параметров комбинированного устройства снижения токсичности отработавших газов дизелей / Д.А. Чернецов, В.П. Капустин // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – №3. – С. 5-8.

14. Чернецов, Д.А. Комбинированное устройство для снижения токсичности отработавших газов / Д.А. Чернецов, В.П. Капустин // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – №7. – С. 7-9.

15. Васильев, И.П. Повышение эффективности очистки отработавших газов дизелей / И.П. Васильев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2014. – №1. – С. 84-87.

References

1. Ambarcumyan, V.V. *Ehkologicheskaya bezopasnost' avtomobil'nogo transporta (Ecological safety of motor transport)*, V.V. Ambarcumyan, V.B. Nosogorbunov, V.I. Tagasov, Moskva, Izdatel'stvo, Nauchtekh-litizdat, 1999, pp. 205.

2. Gorbunov, V.V. *Toksichnost' dvigatelej vnutrennego sgoraniya (Toxicness of combustion engines)*, V.V. Gorbunov, N.N. Patrahall'cev, Moskva, Izdatel'stvo Rossijskogo universiteta druzhby narodov, 1998, pp. 216.

3. Markov, V.A. *Sposob uluchsheniya ehkologicheskikh pokazatelej dizelej (Method of improvement of ecological indexes of diesels)*, V.A. Markov, M.A. Savel'ev, A.V. Selivanov, *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2014, No 8, pp. 8-10.

4. Rachkin, V.A. *Uluchshenie tekhniko-ehkspluatacionnyh pokazatelej traktornyh dizelej primeneniem kombinirovannoj sistemy toplivopodachi (Improvement of technician of operating indexes of tractordiesels by application of the combined system fuel of serve)*, V.A. Rachkin, *Avtoreferat dissertacii kandidata tekhn. nauk*, Penza, FGOU VPO PGSKHA, 2005, pp. 22.

5. Petrov, A.A. *Snizhenie vrednyh vybrosov traktornogo dizelya 4CH 11/12,5 putyom re-cirkulyacii otrabotavshih gazov (Decline of harmful extras of tractor diesel of 4Ч 11/12,5 by of working gases)*, A.A. Petrov, *Avtoreferat dissertacii kandidata tekhnicheskikh nauk*, Saratov, FGOU VPO Saratovskij GAU, 2006, pp. 27.

6. Kobelev, N.S. *Snizhenie ehnergozatrata pri proizvodstve szhatogo vozduha dlya gornyh mashin (Power cost cutout at the production of the compressed air for mountain machines)*, N.S. Kobelev, *Izvestiya Vuzov, Geologiya i razvedka*, 1997, No 6, pp. 167-168.

7. Muramovich, V.G. *Molekulyarnyj modifikator topliva kak instrument uluchsheniya ehkonomicheskikh i ehkologicheskikh pokazatelej DVS (Molecular modifier of fuel as instrument of improvement of economic and ecological indicators of combustion engine)*, V.G. Muramovich, P.F. Anisimov, S.V. Tuev, *Avtomobil'naya promyshlennost'*, 2012, No 4, pp. 26-28.

8. Markov, V.A. Issledovanie raboty dizelya na smesyah dizel'nogo topliva i soevogo masla (Research of work of diesel on mixtures of diesel fuel and soya oil), V.A. Markov, S.N. Devyanin, V.A. Neverov, Traktory i sel'hozmashiny, 2014, No 11, pp. 3-9.

9. Nigmatulin, I.D. Issledovanie ehkspluatacionno-tehnologicheskikh pokazatelej raboty sel'skohozyajstvennykh traktorov, osnashchennykh gazobalonnym oborudovaniem (Research of operating-technological indexes of work of the agricultural tractors equipped by gas), I.D. Nigmatulin, Avtoreferat dissertacii kandidata tekhnicheskikh nauk, Saratov, FGOU VPO Saratovskij GAU, 2014, pp. 21.

10. Uluchshenie ehkologicheskikh harakteristik dizel'nogo dvigatelya pri rabote na vodno-biotoplivnoj ehmul'sii, (Improvement of ecological descriptions of diesel engine during work on water biological fuel emulsion) V.A. Markov, S.N. Devyanin, S.A. Nagornov, E.YU. Levina, Traktory i sel'hozmashiny, 2015, No 11, pp. 3-6.

11. Bizhaev, A.V. Povyshenie ehkologicheskoy bezopasnosti traktornogo dizelya dobavkoj vody v cilindry (Increase of ecological safety of tractor diesel by addition of water in cylinders), A.V. Bizhaev, Avtoreferat dissertacii kandidata tekhnicheskikh nauk, Moskva, FGBOU VO RGAU-MSKHA, 2016, pp. 19.

12. Storozhev, I.I. Povyshenie toplivnoj ehkonomichnosti traktorov MTZ-80/82 na sel'skohozyajstvennykh rabotah za schyot ispol'zovaniya vodno-vozdushnoj smesi (Increase of fuel economy of tractors of MTZ-80/82 on agricultural works due to the use of water-air mixture), I.I. Storozhev, Avtoreferat dissertacii kandidata tekhnicheskikh nauk, Chelyabinsk, FGOU VPO CHelyabinskij GAA, 2011, pp 24.

13. Chernecov, D.A. Optimizaciya parametrov kombinirovannogo ustrojstva snizheniya toksichnosti otrabotavshih gazov dizelej (Optimization of parameters of the combined device of decline of toxicness of working gases of diesels), D.A. Chernecov, V.P. Kapusti, Traktory i sel'hozmashiny, 2013, No 3, pp. 5-8.

14. Chernecov, D.A. Kombinirovannoe ustrojstvo dlya snizheniya toksichnosti otrabotavshih gazov (Combined device for the decline of toxicness of working gases), D.A. Chernecov, V.P. Kapustin, Traktory i sel'hozmashiny, 2013, No 7, pp. 7-9.

15. Vasil'ev, I.P. Povyshenie ehffektivnosti ochistki otrabotavshih gazov dizelej (Increase of efficiency of cleaning of working gases of diesels), I.P. Vasil'ev, Dvigateli vnutrennego sgoraniya, 2014, No 1, pp. 84-87.