

Перспективы создания экологически чистых тепловозов



И. П. Васильев,
канд. техн. наук,
доцент Луганского
национального
университета
им. В. Даля

Рассмотрены существующие экологически чистые тепловозы. Основными вредными веществами в отработавших газах тепловозов являются оксиды азота. Наиболее эффективный способ их нейтрализации – селективное каталитическое восстановление. Для таких восстановителей, как аммиаксодержащие вещества, на тепловозе нужна отдельная емкость. Весьма привлекательным представляется использование в качестве восстановителя топлива – например метана.

Одно из мировых направлений развития транспорта состоит в улучшении экологических показателей транспортных средств. Это касается и обеспечения экологической безопасности железнодорожного транспорта [1]. Такие работы выполняются на основании законодательных норм на вредные выбросы (ВВ) с отработавшими газами (ОГ).

Разработка и создание действующих образцов такой техники – длительный и трудоемкий процесс, поэтому необходимо заблаговременно проводить перспективные изыскания в указанном направлении, в частности, по созданию тепловозов, работающих на метане [2].

К этому следует отнести и соблюдение норм по выбросам парникового газа CO_2 , которые в Европе введены на законодательном уровне для автомобильного транспорта [3], и других парниковых газов, содержащихся в ОГ транспортных средств.

Нормирование вредных выбросов с отработавшими газами тепловозов

Интересно оценить изменение норм [4] на ВВ с ОГ тепловозов в Евросоюзе (табл. 1).

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что со временем требования становятся строже. Так, с 2003 до 2012 г. нормы по содержанию в выбросах оксидов азота ужесточились в три раза, а по содержанию твердых частиц (ТЧ) – в 10 раз.

Начинают рассматриваться мероприятия по снижению выбросов парникового газа CO_2 . И если ВВ с ОГ загрязняют атмосферный воздух над отдельными районами, то парниковые газы оказывают воздействие на всю планету.

Ожидается принятие норм на выбросы парниковых газов на железнодорожном транспорте, разработаны методики оценки выбросов парниковых газов CO_2 , N_2O , CH_4 [5].

Тепловозы с системами нейтрализации отработавших газов

Для выполнения норм на ВВ с ОГ тепловозов необходимо разработать новые системы нейтрализации с реальными испытаниями [4]. К таким системам относится селективное каталитическое восстановление (СКВ, selective catalytic reduction – SCR).

Для испытаний в Германии был выбран тепловоз с двигателем MTU-Motor 8V4000R41 мощностью 1000 кВт. На нем расположен окислительный катализатор, на котором часть NO доокисляется до NO_2 . Оптимальное соотношение NO_2/NO_x равно 0,5. При таких условиях происходит наиболее эффективная реакция восстановления NO_x . После катализатора устанавливается сажевый фильтр, на котором происходит пассивная регенерация ТЧ. По ходу ОГ расположена система подачи водного раствора мочевины: бак емкостью 150 л, который ранее исполь-

Таблица 1. Нормы выбросов с отработавшими газами для тепловозов в Евросоюзе

Нормы	Начало действия	Оксиды азота, г/(кВт ч)	Твердые частицы, г/(кВт ч)	Дымность, единицы Bosch
UIC I	2003	12		1,6
UIC II	2003	9,5	0,25	Не определено
UIC IIIA	2009	6	0,2	Не определено
UIC IIIB	2012	4	0,025	Не определено

зовался для дополнительного топлива, и по два насоса и инжектора для подачи раствора. Далее находится катализатор SCR, а в конце системы – катализатор нейтрализации остаточного NH_3 .

В результате испытаний установлено, что эффективность восстановления NO_x составляет около 90 %, но при больших расходах газа снижается до 85 %. Особое внимание уделялось предотвращению образования N_2O и нейтрализации остаточного NH_3 . При этом уровень выбросов NO_x составил 3,5 г/(кВт·ч), что соответствует норме Евросоюза ШВ. Развитие приведенной разработки нашло отражение в работе [6].

Как уже отмечалось, общая тенденция изменения норм не только в Евросоюзе, но и в США состоит в их ужесточении. И для выполнения необходимых требований использовался комбинированный способ, реализованный фирмами Caterpillar Inc., Emitec Inc., BASF Union (США). Это комбинация сажевого фильтра и системы SCR с нейтрализацией остаточного NH_3 .

Испытания носили внедренческий характер. Исследования проводили на пяти магистральных тепловозах марки PR30C с двигателями Caterpillar 3516C HD мощностью по 2240 кВт. На тепловозе был расположен бак для мочевины объемом 950 л.

Базовый уровень выбросов соответствовал норме Tier 2. После установки системы уровень выбросов NO_x снизился с 6,46 до 1,21 г/(кВт ч), что удовлетворяет требованиям Tier 4. По сравнительным результатам выбросов для двух тепловозов (PRLX 3002 и PRLX 3004) было выявлено, что эффективность по NO_x составляла 81–83 %, по ТЧ 38–58 %, по СН 91 %, по СО 89–91 %. После 3000 ч не было выявлено изменений в работе элементов системы.

Система нейтрализации оксидов азота на реостатных испытаниях

В работе [1] указывается, что направление обеспечения экологической безопасности ОАО «РЖД» следует считать неприоритетным. Можно согласиться с данным утверждением, если рассматривать работу тепловозов только на железных дорогах, проходящих через малонаселенные районы.

Следует учитывать, что созданные магистральные тепловозы проходят на тепловозостроительных заводах реостатные испытания, сопряженные с ВВ ОГ. Исторически сложилось так, что



Рис. 1. Испытательный стенд для исследования селективного каталитического восстановления

после основания завода возле него разрастался город, т. е. ВВ попадали на жилые районы.

С целью оценки ВВ с ОГ на тепловозостроительном заводе в Ворошиловграде (Луганске) был определен состав выбросов от тепловозов различных типов [7]. Выявлено, что основными ВВ от тепловозов являются оксиды азота. Вначале планировалась оснастить маневровые тепловозы завода системами нейтрализации. Но после анализа ситуации с ВВ на заводе (а это испытания около 120 секций тепловозов в месяц) было принято более рациональное решение создать системы нейтрализации на реостатах.

Для нейтрализации ОГ применяли наиболее прогрессивный способ СКВ. Следует отметить приоритетную в этом направлении работу, выполненную в 1972 г. Харьковским политехническим и Ворошиловградским машиностроительными институтами [8].

На базе кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» Ворошиловградского машиностроительного института на стенде с дизелем 2Ч8,5/11 (рис. 1) были проведены исследования по оптимизации режимов работы нейтрализатора по температуре, концентрации восстановителя, подбору эффективных катализаторов и т. д. [9].

На основании полученных результатов на одном из реостатов завода ПО «Ворошиловградтепловоз» в 1986 г. была создана универсальная установка СКВ (рис. 2, 3).



Рис. 2. Система селективного каталитического восстановления на реостате ПО «Ворошиловградтепловоз»

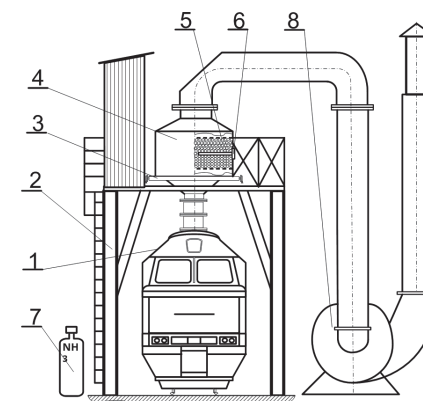


Рис. 3. Схема системы селективного каталитического восстановления для реостатных испытаний тепловозов

Она предназначалась для проведения реостатных испытаний разных типов тепловозов: 2ТЭ116, 2ТЭ121, ТЭ109, ТЭ142, 4ТЭ130 и др.

Таблица 2. Сравнение потенциалов глобального потепления (GWP) отработавших газов

Химическая формула	GWP
CO ₂ (диоксид углерода)	1
NO, NO ₂ (оксиды азота)	12
N ₂ O (закись азота)	298
CO (оксид углерода)	4
NH ₃ (аммиак как восстановитель)	6
CH ₄ (метан как топливо и восстановитель)	23

Тепловоз 1 подгоняется под ферму 2, на которой установлена тележка 3 с каталитическим реактором 4, содержащим катализатор 5 и термодары 6 для контроля теплового состояния каталитического реактора. Газ-восстановитель аммиак находился в баллонах 7 и подавался в нижнюю часть реактора для равномерного распределения по сечению реактора 4. Для обеспечения противодавления выхлопной системы тепловоза, оговоренного в приемо-сдаточных испытаниях, применялся дымосос 8. Использовался насыпной катализатор как наиболее практичный для замены.

Данная установка показала свою работоспособность и высокий уровень очистки ОГ.

Тепловозы, работающие на метане

Один из способов улучшения экологических показателей тепловозов, как уже отмечалось, состоит в их переводе на работу на метане.

Первый опыт создания магистрального газодизельного тепловоза был получен в 1988 г. на тепловозостроительном заводе в Ворошиловграде. Он был создан на базе тепловоза 2ТЭ10М и назывался 2ТЭ10Г. Тепловоз состоял из трех секций, крайние секции – тяговые, средняя содержала 17 т сжиженного природного газа при температуре –162 °С.

После распада СССР эти работы в Украине были прекращены, однако они продолжались в России. Были изготовлены маневровые газодизели на базе тепловоза ТЭМ2В [2].

Системы нейтрализации оксидов азота при использовании метана

В качестве основного недостатка СКВ рассматривается необходимость выделения емкости для восстановителя. Поэтому весьма привлекательным является использовать в качестве восстановителя топливо – например метан [10].

В то же время известно, что побочной реакцией СКВ может быть образование на катализаторе N₂O. Парниковый эффект N₂O в 298 раз выше, чем CO₂, что необходимо учитывать при подборе катализаторов для СКВ [11].

Схема реализации СКВ при использовании в качестве восстановителя метана представлена на рис. 4.

Данный процесс отличает использование метана из топливного бака. На катализаторе CH₄ восстанавливают NO и NO₂ до N₂, CO₂ и H₂O, а образовавшуюся при побочных реакциях N₂O восстанавливают CH₄ на специальном катализаторе до N₂, CO и H₂O. На последней ступени катализатора окисляют остаток CH₄, CO и CH до CO₂ и H₂O.

Снижение парникового воздействия отработавших газов

Для оценки парникового воздействия ОГ тепловозов следует пользоваться потенциалами глобального потепления (global warming potential – GWP) компонентов ОГ, которые приведены в табл. 2.

Сильное парниковое воздействие при малых выбросах ОГ может быть соизмеримо с незначительным парниковым воздействием с большими выбросами ОГ. Так, N₂O имеет GWP=298 по сравнению с CO₂, имеющим GWP=1. С учетом сказанного следует определять мероприятия по снижению парниковых выбросов. Примером может служить снижение парникового воздействия метана при его эффективном сгорании (рис. 5).

При сгорании из 32 т CH₄ образуется 88 т CO₂. Вредное воздействие CH₄ в 23 раза выше, чем CO₂. После полного сгорания парниковое воздействие снижается в (32·23)/(88·1)=8,4 раза. Улучшение сгорания CH₄ в камере сгорания позволяет не только повысить экономичность двигателя, но и снизить парниковое воздействие.

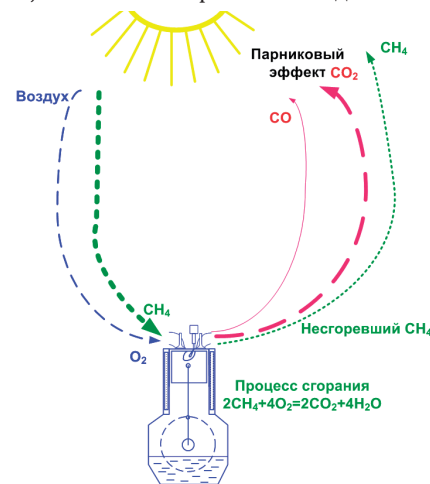


Рис. 5. Снижение парникового воздействия метана при сгорании

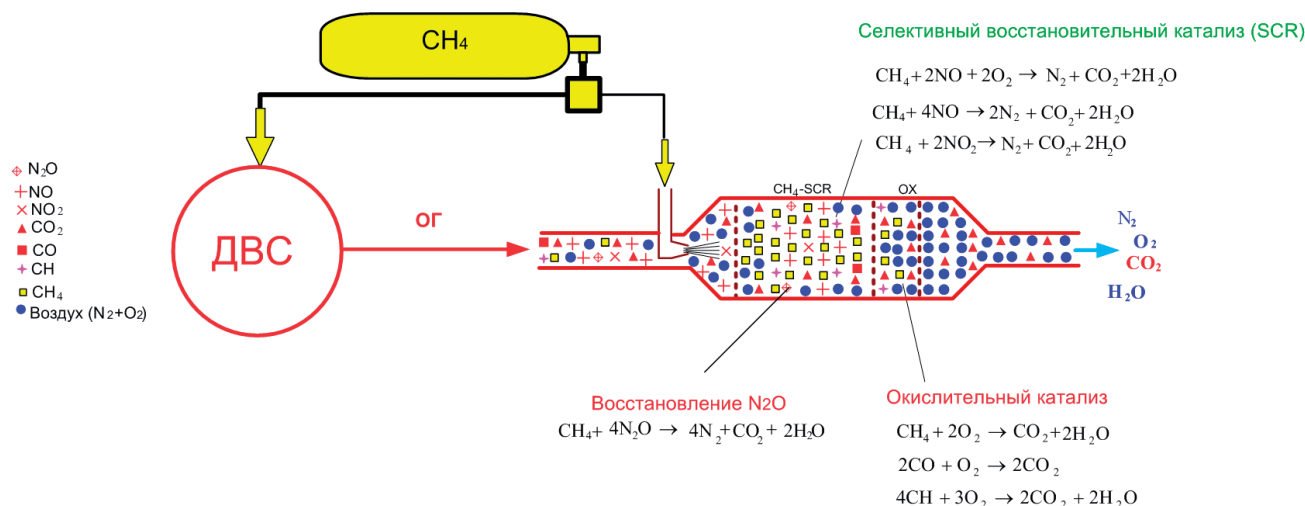


Рис. 4. Схема селективного каталитического восстановления при использовании метана в качестве восстановителя

Таким образом, с учетом мировой тенденции к улучшению показателей экологической безопасности тепловозов обеспечение их системами нейтрализации можно считать перспективным направлением. При этом снижается не только объем ВВ с ОГ, но и их парниковое воздействие. К эффективным способам нейтрализации ОГ относятся СКВ оксидов азота восстановителями, например аммиакосодержащими веществами. Эффективным представляется использовать метан как топливо для тепловозов.

К сожалению, сейчас завод в Луганске не выпускает тепловозы. Однако осталось много разработок в области тепловозостроения, которые могут успешно использовать другие предприятия.

Литература

1. Бершадский В. Я. Экологическая безопасность железнодорожного транспорта и «зеленые» тепловозы // Транспорт РФ. 2014. №3 (52). С. 16–19.
2. Природный газ как топливо для тепловозов. URL: www.elektroportal.ru/articles/art-312-12.htm (дата обращения 04.05.2014).

3. Сорокин П. Как экологические нормы двигают прогресс // За рулем. ru. 03.09.2015. URL: <http://www.zr.ru/content/articles/809243-kak-ekologicheskie-normy-dvigayut-progress-avtoproma/> (дата обращения 30.10.2016).
4. Weigel C., Schäffner G., Kattwinkel P. et al. Abgasnachbehandlungs-Technologien Erprobung im Realen Bahnbetrieb // Motortech. Z. 2010 (71). N 11. S. 808–813.
5. Методические указания по расчету выбросов парниковых газов в атмосферу от железнодорожного транспорта: как от пассажирских, так и от грузовых перевозок. Астана, 2010. 13 с. URL: <http://climatechange.kz/docdowlon/metodik/trans/T1.4.pdf> (дата обращения 25.10.2016).
6. Park P. W., Downey M., Youngren D. et al. Advanced Aftertreatment System Development for a Locomotive Application // Proc. ASME Int. Combustion Engine Division Fall Techn. Conf. (ICEF). Sept. 23–26, 2012. Vancouver, 2012.
7. Звонов В. А., Дядин А. П., Фесенко П. П.

и др. Выделение токсичных веществ тепловозными дизелями типа 2Д50 // Реф. сб. ДВС. М.: НИИНФОРМТЯЖМАШ, 1976. № 4–76–12. С. 10–12.

8. А. с. 413977 СССР, МКИ F 01 N 3/14. Способ каталитической обработки выхлопных газов / Атрощенко В. И., Звонова З. Т., Звонов В. А., Фурса В. В. (СССР); Ворошиловградский машиностроительный институт (СССР). № 1785011/24-6. Заявлено 15.05.72. Опубл. 05.11.74. Бюл. № 5.
9. Звонов В. А., Звонова З. Т., Фесенко П. П. и др. Исследование каталитической нейтрализации отработавших газов дизеля // Двигатели внутр. сгорания. 1978. № 28. С. 121–127.
10. Бурдейная Т. Н., Матышак В. А., Третьяков В. Ф. и др. О механизме селективного восстановления NOx углеводородами в присутствии кислорода на оксидных катализаторах VI. Спектральные и кинетические характеристики поверхностных комплексов на Ni–Cr-оксидном катализаторе // Кинетика и катализ. 2007. Т. 48, № 1. С. 91–99.
11. Hausberger S. N2O aus mobilen Quellen. URL: www.accc.gv.at/pdf/no-hausberger.pdf.

Подписка

Подписка на журнал «Транспорт Российской Федерации» оформляется в любом отделении почтовой связи

- по объединенному каталогу «Пресса России», подписной индекс 15094,
- по электронному каталогу «Почта России», подписной индекс П1719

Подписаться на журнал через редакцию можно в течение года с любого месяца,

- выслав заявку по факсу: (812) 310-40-97;
- выслав заявку по электронной почте: rt@rostransport.com;
- или заполнив заявку на сайте www.rostransport.com, раздел «Подписка».



Подписку также можно оформить в агентствах:

«Книга-Сервис»,
Тел.: (495) 680-90-88
<http://akc.ru>

«Урал-Пресс»
Тел.: (495) 789-86-36

«Почта России»
Тел.: (495) 956-20-67
<http://russianpost.ru>