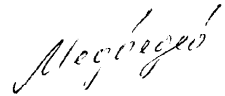


На правах рукописи



**Медведев Геннадий Валериевич**

**СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЕЙ  
В СВС - КАТАЛИТИЧЕСКИХ БЛОКАХ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ  
ПУТЕМ ОРГАНИЗАЦИИ СЕЛЕКТИВНОЙ ОЧИСТКИ**

05.04.02 – «Тепловые двигатели»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Барнаул-2009

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И.Ползунова (АлтГТУ)»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
Новоселов Александр Леонидович

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
Юр Геннадий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент  
Русаков Вадим Юрьевич

**Ведущее предприятие:** ОАО "ПО "Алтайский моторный завод"  
(г. Барнаул)

Защита состоится « 28 » декабря 2009 года в 13 часов на заседании диссертационного совета Д212.004.03 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И.Ползунова по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46 (тел/факс (3852) 260516, e-mail: [D21200403@mail.ru](mailto:D21200403@mail.ru))

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета

Автореферат разослан « 26 » ноября 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д212.004.03  
доктор технических наук, профессор

 А.Е. Свистула

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Начало третьего тысячелетия знаменуется не только бурным развитием транспорта и малой энергетики, но и продолжающимся ростом техногенного воздействия поршневых двигателей на окружающую среду.

Решение проблемы дальнейшего снижения вредных выбросов с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания связывают как с совершенствованием рабочих процессов, переводом на альтернативные виды топлив, так и с совершенствованием каталитической очистки.

Предлагаемые для выполнения норм ЕВРО-5 системы селективной очистки отработавших газов (ОГ) успешно апробированы на катализаторах, содержащих благородные металлы. Отсутствие сведений об использовании интерметаллидов, полученных с применением технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в селективной очистке ОГ дизеля не позволяет целенаправленно вести работу по снижению стоимости очистки и тормозит решение экологической проблемы. **Актуальность** настоящей работы состоит в снижении экологической нагрузки от вредных веществ ОГ двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на окружающую среду, путем организации селективной каталитической очистки отработавших газов в пористых проницаемых катализаторах, полученных по СВС - технологиям.

**Целью** исследования явилась разработка эффективной системы селективной очистки отработавших газов дизелей на базе пористых проницаемых каталитических блоков, полученных с использованием СВС - технологий.

Для достижения поставленной цели определены следующие основные **задачи исследования**:

1. Разработать математическую модель селективной очистки ОГ дизеля в каталитическом нейтрализаторе, позволяющую осуществить подбор растворов жидкостей, впрыскиваемых в различные зоны реактора нейтрализатора;
2. Разработать экспериментальный комплекс для оценки эффективности селективной очистки газов в нейтрализаторах с пористыми проницаемыми СВС - каталитическими блоками;
3. Выявить эффективность подачи дополнительного воздуха в отдельные блоки очистки газов от продуктов неполного сгорания;
4. Определить влияние подачи отдельных растворов в реактор каталитического нейтрализатора на качество очистки отработавших газов;
5. Выявить влияние температуры катализаторов из СВС - материалов на качество очистки отработавших газов дизеля;
6. Разработать конструкцию каталитического нейтрализатора для селективной очистки отработавших газов дизеля и провести её апробацию.

Настоящая работа выполнена по специальности 05.04.02 - "Тепловые двигатели", как часть целевой комплексной программы СО РАН "Экология", блок "Атмосфера" в соответствии с Перспективным планом развития научно-исследовательских работ Алтайского государственного технического универ-

ситета (АлтГТУ) им. И.И. Ползунова.

**Объект исследования:** процессы селективной очистки отработавших газов дизелей в каталитических нейтрализаторах.

**Предмет исследования:** эффективность селективной очистки ОГ дизелей в каталитическом нейтрализаторе с пористыми проницаемыми СВС-блоками.

**Научная новизна** заключается:

- в разработке математической модели селективной очистки ОГ дизеля в каталитическом нейтрализаторе, позволяющей решать задачи подбора растворов жидкостей, впрыскиваемых в различные зоны реактора нейтрализатора;

- в разработке экспериментального комплекса и устройства каталитического нейтрализатора, позволяющих осуществлять селективную очистку ОГ дизелей;

- в получении данных о влиянии подачи окислителя в различные зоны реактора на качество очистки отработавших газов;

- в получении информации об эффективности применения разработанных автором растворов на качество очистки газов;

- в выявлении влияния температуры СВС - катализаторов на качество очистки газов;

- в разработке конструкции нейтрализатора, позволяющей осуществлять селективную очистку отработавших газов.

**Практическая ценность.** Исследования выполнены в рамках научно - технических программ: "Экология" СО РАН, "Исследования и разработки по приоритетным направлениям" Министерства промышленности и торговли РФ, заказов Министерства образования и науки РФ. Практическая ценность заключается в:

- разработке расчетных методов, позволяющих оценить эффективность каталитической очистки ОГ в нейтрализаторах с селективной очисткой различных конструкций;

- разработке экспериментальной установки, для выполнения сравнительных испытаний различных катализаторов и каталитических систем очистки ОГ;

- разработке конструкции каталитического нейтрализатора, для эффективной селективной очистки ОГ.

**Реализация результатов исследований:**

Материалы диссертации используются при разработке систем каталитической нейтрализации в НПО "Алтайский машиностроительный завод" (г. Барнаул) и в учебном процессе в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (г. Барнаул) в курсах лекций "Рабочие процессы, конструкция и основы расчета энергетических установок", "Типаж подвижного состава и устройство автомобиля" и "Обеспечение экологичности предприятий автосервиса".

**Апробация работы.** Материалы исследований по теме диссертации доложены на научно - технических конференциях в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова в 2005 - 2009 годах, конферен-

циях Союза научных и инженерных организаций России, на семинарах в Алтайском и Новосибирском государственных технических университетах, Всероссийских и городских конференциях молодых ученых в г. Барнауле.

**Публикации.** Основное содержание диссертационной работы опубликовано в двадцати печатных работах, в том числе 2 в изданиях, рекомендованных ВАК.

**Структура работы.** Диссертация содержит 188 страниц, в том числе 34 таблицы, 31 рисунок и состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы, содержащего 156 источников отечественной и 83 источника зарубежной литературы, и двух приложений на 16 страницах.

В соответствии с содержанием работы на защиту выносятся **следующие положения:**

1. Математическая модель селективной очистки отработавших газов дизеля в каталитическом нейтрализаторе, позволяющая осуществить подбор растворов жидкостей, впрыскиваемых в различные зоны реактора нейтрализатора;

2. Экспериментальный комплекс для оценки эффективности селективной очистки газов в нейтрализаторах с пористыми проницаемыми СВС - каталитическими блоками;

3. Результаты эффективности подачи дополнительного воздуха в отдельные блоки очистки газов от продуктов неполного сгорания;

4. Результаты влияния подачи отдельных растворов в реактор каталитического нейтрализатора на качество очистки отработавших газов;

5. Результаты влияния температуры катализаторов из СВС - материалов на качество очистки отработавших газов дизеля;

6. Конструкция каталитического нейтрализатора для селективной очистки отработавших газов дизеля.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснованы актуальность проблемы, отражена научная новизна и практическая значимость результатов работы, сформулированы цели и задачи исследования.

**В первой главе** рассмотрены проблемы уменьшения вредных выбросов двигателей внутреннего сгорания, как важнейшей задачи, от решения которой зависят экологическое состояние планеты, здоровье населения, сохранение генофонда и культурных ценностей. Экологическая проблема поставлена на уровень проблем сохранения мира, обеспечения населения планеты продуктами питания.

Проанализировано состояние мирового автомобильного парка, в том числе Российской Федерации и стран СНГ, выбрасывающего его двигателями вместе с отработавшими газами вредные вещества в окружающую среду, и их воздействие на окружающую среду, флору и фауну, и на здоровье настоящего и последующих поколений людей, удельные экономические ущербы от удельных загрязнителей.

На основе анализа работ ряда отечественных и зарубежных ученых, представлены пути по повышению эффективности каталитической очистки отработавших газов дизелей (см. рисунок 1).

Выполнен анализ по организации процессов очистки отработавших газов в реакторах каталитических нейтрализаторов. Сформулированы цели и задачи исследования.

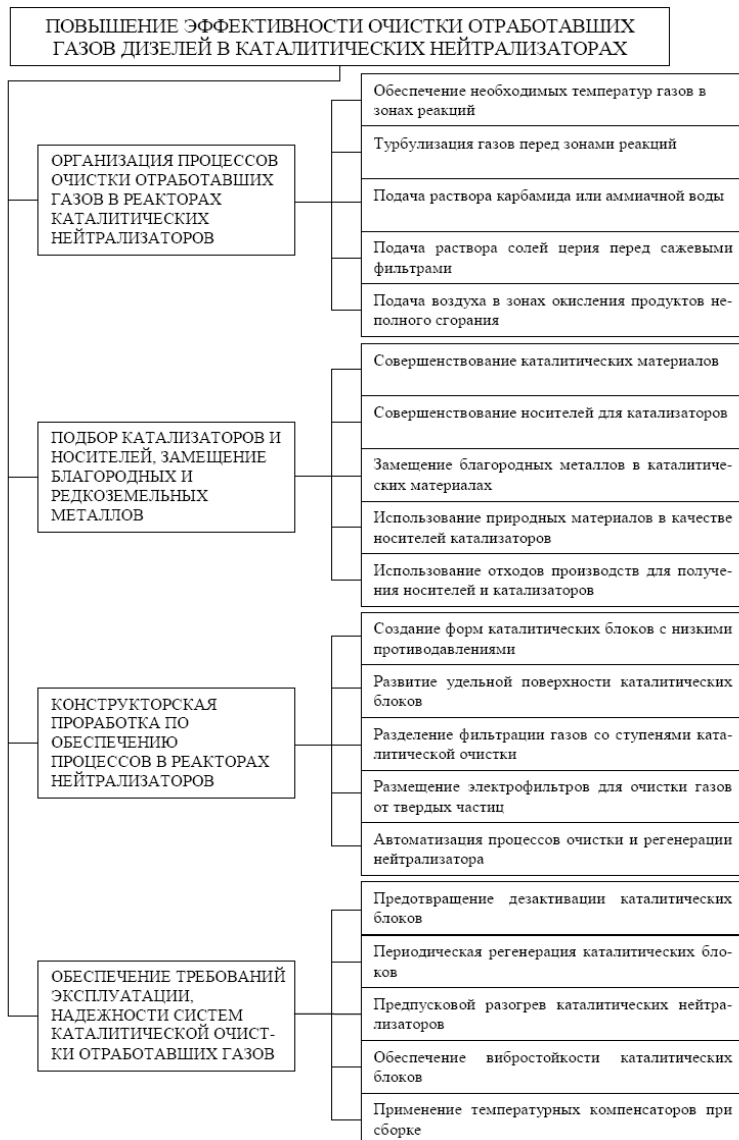
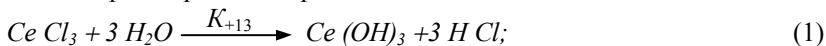


Рис. 1 - Пути повышения эффективности каталитической очистки ОГ дизелей

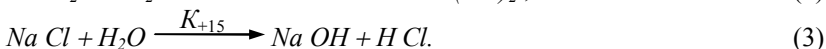
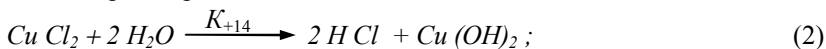
**Во второй главе** в соответствии целями и задачами исследования осуществлено математическое моделирование процессов селективной очистки отработавших газов в каталитических нейтрализаторах. Автором усовершенствована математическая модель, апробированная А.А. Мельберг, путем ввода отдельных кинетических уравнений реакций, описывающих процессы, происходящие в каталитическом нейтрализаторе, согласно принятым мероприятиям селективной очистки (глава 4). При усовершенствовании модели учтен вклад ряда отечественных и зарубежных ученых, в том числе О.И. Жегалина, В.А. Кузнецова, Н.А. Китросского, П.Д. Лупачева. Системы уравнений каталитической очистки были дополнены для случаев:

а) реакций окисления для следующих мероприятий:

- подачи раствора соли церия :

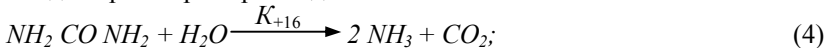


- подачи раствора А:



б) реакции восстановления для следующих мероприятий:

- подачи раствора карбамида :



- подачи аммиачной воды:

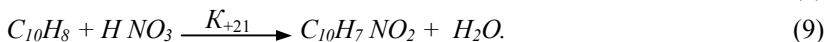
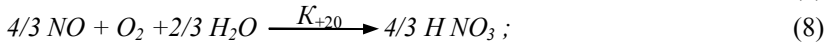


- подачи раствора соли церия :



- подачи раствора А уравнение (6);

- подачи раствора Б:



По компонентам для этих реакций рассчитаны и подобраны следующие константы прямых реакций и скоростей реакций:

Константа скорости реакции для выражения (1):

$$K_{+13} = 2,258 \cdot 10^4 \cdot T^{1,4} \cdot \exp[-318100/(R \cdot T)]. \quad (10)$$

Тогда скорость прямой реакции представляется как:

$$R_{+13} = K_{+13} \cdot c_{Ce Cl_3} \cdot c_{H_2O}^3. \quad (11)$$

Константы скоростей реакций для выражений (2 - 3):

$$K_{+14} = 2,977 \cdot 10^{-7} \cdot T^{1,25} \cdot \exp[-254910/(R \cdot T)]; \quad (12)$$

$$K_{+15} = 27,08 \cdot T^{0,03} \cdot \exp[-183270/(R \cdot T)]. \quad (13)$$

Скорости прямых реакции можно представить:

$$R_{+14} = K_{+14} \cdot c_{Cu Cl_2} \cdot c_{H_2O}^2; \quad (14)$$

$$R_{+15} = K_{+15} \cdot c_{Na Cl} \cdot c_{H_2O}. \quad (15)$$

Константу скорости реакции для выражения (4):  
 $K_{+16} = 13,10 \cdot T^{0,12} \cdot \exp[-131300/(R \cdot T)].$  (16)

Скорость прямой реакции можно представить:  
 $R_{+16} = K_{+16} \cdot c_{\text{NH}_2\text{CONH}_2} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}.$  (17)

Константа скорости реакции для выражения (5):  
 $K_{+17} = 27,83 \cdot T^{0,025} \cdot \exp[-183270/(R \cdot T)].$  (18)

Скорость прямой реакции:  
 $R_{+17} = K_{+17} \cdot c_{\text{NH}_4\text{OH}}.$  (19)

Константа скорости реакции для выражения (6):  
 $K_{+18} = 1,7 \cdot 10^{14} \cdot \exp[-204200/(R \cdot T)].$  (20)

Скорость прямой реакции:  
 $R_{+18} = K_{+18} \cdot c_{\text{NH}_3} \cdot c_{\text{HCl}}.$  (21)

Константы скоростей в реакциях (7 - 9):  
 $K_{+19} = 6,92 \cdot 10^{13} \cdot \exp[-111410/(R \cdot T)];$  (22)

$K_{+20} = 9,55 \cdot 10^{12} \cdot \exp[-1470/(R \cdot T)];$  (23)

$K_{+21} = 1,82 \cdot 10^{14} \cdot \exp[-4420/(R \cdot T)].$  (24)

Скорости прямых реакции соответственно:  
 $R_{+19} = K_{+19} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}_2};$  (25)

$R_{+20} = K_{+20} \cdot c_{\text{NO}}^{4/3} \cdot c_{\text{O}_2} \cdot c_{\text{H}_2\text{O}}^{2/3};$  (26)

$R_{+21} = K_{+21} \cdot c_{\text{C}_{10}\text{H}_8} \cdot c_{\text{HNO}_3},$  (27)

где  $c_i$  - концентрация компонентов, г/м<sup>3</sup> ОГ;

$R = 8,314$  кДж/кмоль·К - универсальная газовая постоянная;

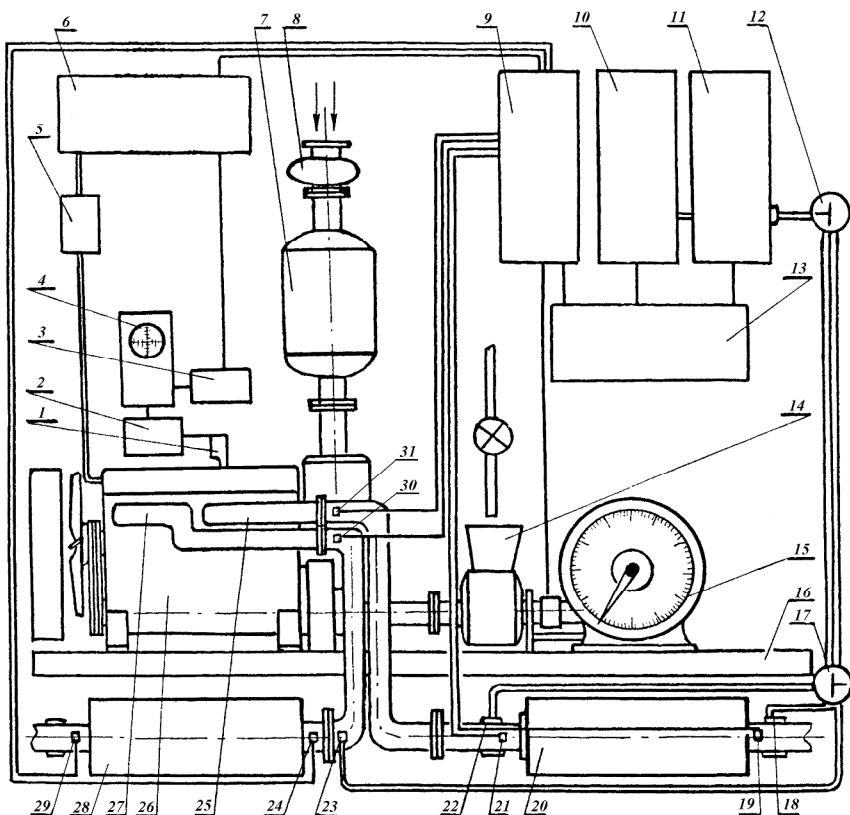
$T$  - температура в реакторе, °К.

Далее, в зависимости от комплекса мероприятий для селективной очистки, система уравнений математической модели дополняется соответствующими реакциями (1 - 9) и уравнениями (10 - 27); концентрациями реагируемых веществ, в зависимости от процентной концентраций дополнительно подаваемых растворов с учетом расхода отработавших газов; дополнительно подаваемым количеством воздуха (18 %), учитывая содержание в нем кислорода  $m_{\text{O}_2}^+ = 0,2315 \cdot 0,18 \cdot V_{\text{OG}} \cdot \rho_B$ , кг/ч и азота  $m_{\text{N}_2}^+ = 0,755 \cdot 0,18 \cdot V_{\text{OG}} \cdot \rho_B$ , кг/ч (где  $V_{\text{OG}}$  - объемный расход отработавших газов, м<sup>3</sup>/ч;  $\rho_B = 1,293$  кг/м<sup>3</sup> - плотность воздуха; 0,2315 и 0,755 - массовая доля кислорода и азота в воздухе); дополнительно индукционного нагрева каталитических блоков нейтрализатора, и решается численным методом.

В результате моделирования процесса очистки отработавших газов, проведенного с помощью созданного программного комплекса было определено влияние мероприятий по селективной очистке отработавших газов двигателя 6Ч 15/18, на качество очистки в каталитическом нейтрализаторе с пористыми проницаемыми СВС - блоками, средняя ошибка расхождения с экспериментальными данными не превышала: по  $M_{\text{NO}_x} = 8,4\%$ ,  $M_{\text{CO}} = 10,1\%$ ,  $M_{\text{C}_x\text{H}_y} = 12,8\%$ ,  $M_{\text{TЧ}} = 8,3\%$ . Что означает удовлетворительную сходимость модели.

**В третьей главе** приведено описание экспериментальной установки, созданной в лаборатории ОАО ХК "Барнаултрансмаш", на которой проводились экспериментальные исследования (см. рис. 2).



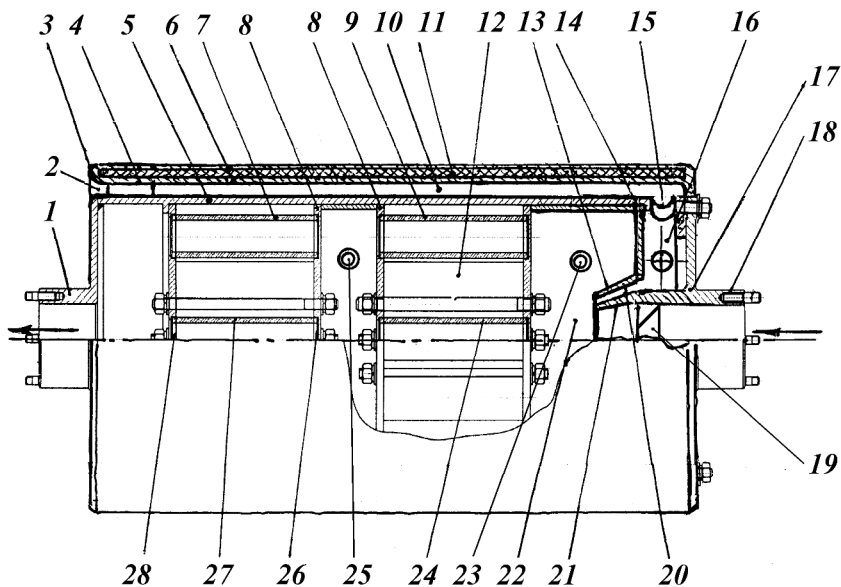


1 - пьезодатчик; 2 - преобразователь; 3 - записывающий блок; 4 - осциллограф; 5 - преобразователь сигналов; 6 - обрабатывающий блок; 7 - ресивер; 8 - газовый счетчик; 9 - измерительный комплекс температурный; 10 - измерительный комплекс токсичности; 11 - дымомер; 12, 17 - кран; 13 - печатающее устройство; 14 - гидравлический тормоз; 15 - измерительное устройство; 16 - рама; 18, 22, 23 - газоотборник; 19, 21, 24, 29, 30, 31 - термопара; 20 - нейтрализатор; 25, 27 - коллектор; 26 - дизель 6С 15/18; 28 - пилотная установка

Рис. 2 - Экспериментальная установка с дизелем 6С 15/18

Установка была оборудована измерительной аппаратурой и приборами согласно ГОСТ 21393 - 75, ГОСТ Р 41.49 - 99, ГОСТ Р 41.24 - 99 и дооборудовалась специальной измерительной аппаратурой, в том числе, по ГОСТ Р 41.49 - 99 и ГОСТ Р 41.24 - 99 для измерения дымности и токсичности дизелей. Устройство установки позволило производить испытания дизелей по 13 - режимному циклу, соответствующему предписаниям ЕЭК ООН.

Для проведения экспериментов по селективной очистке отработавших газов дизелей, автором создана конструкция комбинированного каталитического нейтрализатора с пористыми проницаемыми СВС - блоками (см. рис.3), применявшегося при проведении одно- и многофакторных экспериментов согласно программе исследований.



1 - патрубок выходной; 2 - полость кольцевая; 3 - кожух; 4 - стенка внутренняя; 5 - корпус; 6 - стенка внешняя; 7 - пористый металлокерамический восстановительный блок; 8 - перегородка поперечная; 9 - блок фильтрации твердых частиц; 10 - полость щелевая; 11 - теплоизоляция; 12 - кассета блоков; 13 - элемент полый конусный; 14 - перегородка дополнительная; 15 - отверстия концентрические; 16 - полость; 17 - крышка торцевая; 18 - патрубок входной; 19 - завихритель отработавших газов; 20 - щелевой эжектор; 21 - насадок полый конусообразный; 22 - полость внутренняя; 23, 25 - форсунка; 24 - пористый металлокерамический окислительный блок; 26 - окно "глухое"; 27 - пористый металлокерамический окислительно - восстановительный блок; 28 - окно сквозное

Рис. 3 - Каталитический нейтрализатор

**В четвертой главе** приведена программа экспериментальных исследований, базирующаяся на теоретической проработке и результатах математического моделирования процессов очистки отработавших газов в каталитических нейтрализаторах, содержащих блоки: фильтрующий - для очистки твердых частиц; восстановительный - для очистки от оксидов азота; окислительный - для очистки от продуктов неполного сгорания.

В таблице 1 приведена программа исследования, характеризующая последовательность проведения испытаний на стенде с пилотной установкой и предложенной конструкцией каталитического нейтрализатора, а принятые обозначения на графиках в главе 4 соответствуют указанным в таблице.

Каждое из мероприятий ранее недостаточно апробировалось на дизелях размерности 15/18 или вообще не применялось в аналогичных целях.

Результаты исследований, согласно программе испытаний (см. таблицу 1), проведенные по использованию подачи дополнительного воздуха и растворов в реакторы каталитического нейтрализатора с его индукционным нагревом в различных комбинациях, приведены на рис. 4 - 7.

Таблица 1 - Варианты мероприятий по повышению эффективности очистки отработавших газов дизеля в каталитическом нейтрализаторе с СВС-блоками

	Меры воздействия на каталитические процессы в нейтрализаторах отработавших газов	Варианты проведения исследований и их обозначения на графиках в главе 4															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
		○	●	▶	◊	◆	▼	□	■	△	▲	◀	■	⊗	☀	♂	
1	Каталитический трехступенчатый нейтрализатор с СВС-блоками		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
2	Подача воздуха в реактор перед фильтром твердых частиц			+									+		+	+	+
3	Подача воздуха в реактор перед блоком окисления				+												
4	Подача турбулентного потока на входе в реактор нейтрализатора					+								+			
5	Подача раствора карбамида перед блоком восстановления						+							+	+		+
6	Подача аммиачной воды перед блоком восстановления							+								+	
7	Подача раствора соли церия перед фильтрующим блоком								+								+
8	Подача раствора А на входе в реактор нейтрализатора									+							
9	Подача раствора Б на входе в реактор нейтрализатора										+						
10	Осуществление подогрева каталитических блоков											+	+	+	+	+	+
11	Четырехтактный дизель 6Ч 15/18	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

В таблице 1 обозначены:

- раствор А:  $CuCl_2 + NaCl$  в 90% этиленгликоля и 10% нашатырного спирта;
- раствор Б: смесь из пероксида водорода, нафталина и тиофена растворенная в метаноле и эмульгированная в 60% воды.

Наиболее полное представление о суммарной эффективности мероприятий, направленных на повышение качества очистки отработавших газов в каталитическом нейтрализаторе дает комплексная оценка по суммарному эффективному нормообъему (см. таблицу 2).

Комплексным показателем, который характеризует в целом экологическую ситуацию, является показатель удельного эксплуатационного нормообъема, предложенный в работах В.И. Смайлиса и расширенный в работах А.Л. Новоселова. При этом показатель удельного приведенного эксплуатационного нормообъема характеризует количество воздуха, необходимого для разбавления отработавших газов до безвредных концентраций их компонентов.

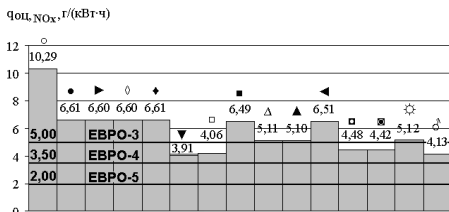


Рис. 4-Удельные оценочные выбросы  $NO_x$

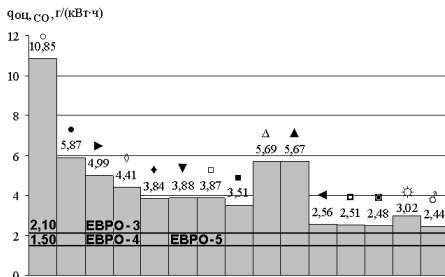


Рис. 5-Удельные оценочные выбросы  $CO$

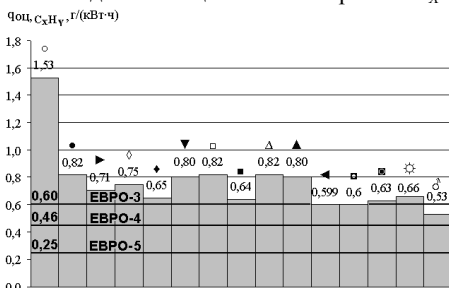


Рис. 6-Удельные оценочные выбросы  $C_xH_y$

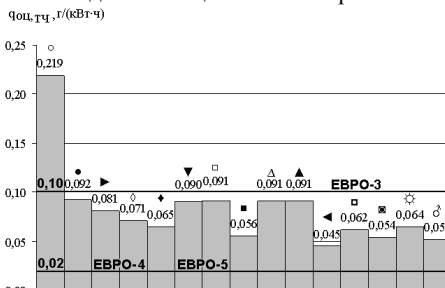


Рис. 7-Удельные оценочные выбросы  $TЧ$

Таблица 2 - Сравнение результатов воздействия отдельных мероприятий на повышение эффективности каталитической очистки газов

Мероприятия повышения эффективности каталитической очистки газов	Значение удельного нормообъема, н м <sup>3</sup> / (кВт·ч)					Эффективность, %
	$U_{NOx}$	$U_{CO}$	$U_{CxHy}$	$U_{TЧ}$	$U_{\Sigma}$	
○ Дизель без каталитического нейтрализатора	2058	542,5	5,10	54,75	2660	
● Дизель с многоступенчатым нейтрализатором	1322	293,5	2,86	23,00	1641	38,3
▶ Подача воздуха в нейтрализатор перед фильтром твердых частиц (ФТЧ)	1320	249,5	2,36	20,25	1592	40,2
◇ Подача воздуха перед блоком окисления	1320	220,5	2,50	17,75	1561	41,3
◆ Турбулизация газов на впуске в нейтрализатор	1320	192,0	2,17	16,25	1530	42,5
▼ Подача 15%-раствора карбамида перед блоком восстановления (расход раствора 3,5 г/м <sup>3</sup> ОГ)	1178	193,5	2,73	22,75	1397	47,5
□ Подача 12%-аммиачной воды перед блоком восстановления (расход раствора 2,0 г/м <sup>3</sup> ОГ)	1088	193,5	2,73	22,75	1307	50,9
■ Подача 10%-раствора соли Се перед ФТЧ (расход раствора 3,1 г/м <sup>3</sup> ОГ)	1298	175,5	2,13	14,00	1490	44,0
△ Подача раствора А на впуск в нейтрализатор (расход раствора 1,4 г/м <sup>3</sup> ОГ)	1022	284,5	2,73	22,75	1332	49,9
▲ Подача раствора Б на впуск в нейтрализатор (расход раствора 5,0 г/м <sup>3</sup> ОГ)	1020	283,5	2,73	22,75	1329	50,0
◀ Подача воздуха перед ФТЧ, нагрев каталитических блоков до 720 °К	1302	128,0	1,99	11,25	1443	45,8
■ Турбулизация ОГ на впуске, раствор карбамида, нагрев блоков	896	125,5	2,00	15,25	1039	60,9
■ Подача воздуха перед ФТЧ, нагрев блоков, раствор карбамида	884	124,0	2,10	13,50	1024	61,5
☼ Подача воздуха, аммиачная вода, нагрев блоков	1052	134,0	2,70	21,50	1210	54,5
♂ Нагрев блоков, подача воздуха и карбамида перед блоком восстановления, соли церия перед ФТЧ	826	122,0	1,77	13,00	963	63,8

Анализ рис. 4 - 7 показывает, что способы повышения эффективности каталитической очистки отработавших газов дизелей можно разделить по следующим признакам, свидетельствующим о выполнении (или приближении к выполнению) норм ЕВРО - стандартов:

- удовлетворяющие (или близки к соответствию) требований ЕВРО-3 по выбросам  $NO_x$ :

- подача раствора А на впуск в нейтрализатор;
- подача эмульсии раствора Б на впуск нейтрализатор;
- подача воздуха, аммиачная вода, нагрев блоков;
- подача раствора карбамида перед блоком восстановления;
- подача аммиачной воды перед блоком восстановления;
- турбулизация ОГ на впуске, раствор карбамида, нагрев;
- подача воздуха перед ФТЧ, нагрев блоков, раствор карбамида;
- нагрев блоков, подача воздуха и карбамида перед блоком восстановления, соли церия перед ФТЧ;

- ниже уровней требований ЕВРО - 3 по выбросам  $CO$  мероприятий не выявлено;

- удовлетворяющие требованиям (или близки к соответствию) ЕВРО-3 по выбросам  $C_xH_y$ :

- турбулизация газов на впуске в нейтрализатор;
- подача раствора соли церия на ФТЧ;
- подача воздуха перед ФТЧ, нагрев каталитических блоков;
- турбулизация ОГ на впуске, раствор карбамида, нагрев;
- подача воздуха перед ФТЧ, нагрев блоков, раствор карбамида;
- подача воздуха, аммиачная вода, нагрев блоков;
- нагрев блоков, подача воздуха и карбамида перед блоком восстановления, соли церия перед ФТЧ;

- все мероприятия имеют выбросы ниже норм требований ЕВРО - 3 по выбросам  $TC$  (твердых частиц).

Данные свидетельствуют (см. таблицу 2) о том, что наиболее эффективны комплексные мероприятия, направленные на селективную очистку отработавших газов дизелей, а именно:

- комплекс, включающий турбулизацию потока ОГ на входе в нейтрализатор, подачу раствора карбамида перед блоком восстановления оксидов азота, подогрев каталитических блоков, приводит к снижению удельного нормообъема на 60,9%;

- комплекс, включающий подачу воздуха в реактор нейтрализатора перед блоком окисления, раствора карбамида перед блоком восстановления оксидов азота, подогрев каталитических блоков, приводит к снижению удельного нормообъема на 61,5%;

- комплекс, включающий подачу воздуха в реактор перед блоком окисления, подача раствора карбамида перед блоком восстановления оксидов азота, раствора соли церия перед сажевым фильтром, подогрев блоков, приводит к снижению удельного нормообъема на 63,8%.

- разработанная конструкция нейтрализатора для селективной очистки отработавших газов дизеля обеспечивает снижение вредных выбросов суммарно на 40,2...63,8%.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Наиболее существенные результаты по работе заключаются в следующем: разработана эффективная система селективной очистки отработавших газов дизелей на базе пористых проницаемых каталитических блоков, полученных с использованием СВС - технологий, в том числе:

1. Модернизирована математическая модель селективной очистки отработавших газов дизеля в каталитическом нейтрализаторе, позволяющая осуществить подбор растворов жидкостей, впрыскиваемых в различные зоны реактора нейтрализатора;

2. Разработан экспериментальный комплекс и пилотная установка, позволившие произвести оценку эффективности отдельных и комплексных методов организации селективной очистки отработавших газов дизеля;

3. Выявлено, что подача в реактор нейтрализатора перед ФТЧ дополнительного воздуха, подогретого до температуры 393° К, в количестве по объему  $(0,16 - 0,18) \cdot V_{ог}$ , позволяет дополнительно снизить выбросы  $CO$  - на 15%,  $C_xH_y$  - на 17,5%, твердых частиц - на 12%.

4. Установлено, что подача растворов:

- 15% водного раствора карбамида в реактор каталитического нейтрализатора перед блоком восстановления позволяет дополнительно снизить выбросы  $NO_x$  - на 10,9%,  $CO$  - на 34,1%;

- 12% аммиачной воды в реактор каталитического нейтрализатора перед блоком восстановления позволяет дополнительно снизить выбросы  $NO_x$  - на 17,7%,  $CO$  - на 34,1%;

- 10% раствора соли  $Se$  после завихрителя на впуске позволяет дополнительно снизить выбросы  $CO$  - на 40,2%,  $C_xH_y$  - на 25,5%; твердых частиц - на 39,1%;

- раствора А в реактор каталитического нейтрализатора после завихрителя на впуске позволяет дополнительно снизить выбросы  $NO_x$  - на 22,7%;

- раствора Б в реактор каталитического нейтрализатора после завихрителя на впуске позволяет дополнительно снизить выбросы  $NO_x$  - на 22,8%;

5. Выявлена эффективность дополнительного подогрева каталитических блоков нейтрализатора до температуры 720°К в комплексе с подачей подогретого воздуха и раствора карбамида в снижении уровня вредных выбросов  $CO$  - на 56,4%,  $C_xH_y$  - на 30,45%, твердых частиц - на 51,1%;

6. Разработанная конструкция каталитического нейтрализатора обеспечивает селективную очистку отработавших газов по основным токсичным компонентам суммарно до 63,8%.

## Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

*а) в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:*

1. **Медведев, Г.В.** Диапазоны рабочих температур катализаторов для очистки отработавших газов дизелей/ А.А. Мельберт, М.Л. Тихомиров, Г.В. Медведев и др.// Ползуновский вестник. - 2009. - № 1-2. - С. 93 - 98.

2. **Медведев, Г.В.** Совершенствование конструкций дизелей и их экологические показатели/ Н.В. Батулин, Д.Н. Титов, Г.В. Медведев и др. // Ползуновский вестник. - 2009.- № 1-2.- С. 73 - 80.

*б) в других изданиях:*

3 **Медведев, Г.В.** Оптимальный состав шихтовых смесей для получения фильтративных материалов/ В.В. Бразовский, Г.В. Медведев// Металлургия машиностроения. - 2009.- № 4. - С. 17 - 20.

4. **Медведев, Г.В.** Получение новых материалов из отходов самораспространяющимся высокотемпературным синтезом/ В.В. Бразовский, Г.В. Медведев// Металлургия машиностроения. - 2009. - № 3. - С. 45 - 47.

5. **Медведев, Г.В.** Влияния угара масла в дизеле на дисперсность твердых частиц/ Г.В. Медведев, А.Л. Новоселов // "Наука и молодежь - 2009" [ Электронный ресурс ]: 6-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Барнаул, АлтГТУ, апрель - июнь, 2009 г.).- Электрон. текст. дан.- Режим доступа: <http://edu.secna.ru /media/f/avt.pdf>.- Загл. с экрана.

6. **Медведев, Г.В.** Подача раствора соли церия перед сажевым фильтром нейтрализатора/ А.А. Мельберт, Г.В. Медведев, Т.А. Стопарева// Проблемы совершенствования энергетических установок: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 78-83.

7. **Медведев, Г.В.** Повышение качества очистки отработавших газов дизеля за счет их турбулизации в нейтрализаторе/ Г.В. Медведев, А.Л. Новоселов, А.В. Горбачев// Проблемы совершенствования энергетических установок: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 83 - 90.

8. **Медведев, Г.В.** Возможности каталитической очистки отработавших газов дизелей при использовании высоких технологий/ М.Л. Тихомиров, А.А. Мельберт, А.Л. Новоселов, Г.В. Медведев// Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 18 - 33.

9. **Медведев, Г.В.** Стенд для испытаний каталитических нейтрализаторов для дизелей/ Г.В. Медведев, А.А. Унгефук, А.Н. Салмин, Д.С. Печенникова // Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ,- 2008. - С. 33 - 39.

10. **Медведев, Г.В.** Влияние нагрузочного и скоростного режимов на уровни вредных выбросов дизеля 8Ч12/12 / Г.В. Медведев, С.Н. Павлов, Б.Ф. Бекбаев, В.В. Деркачев// Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 45 - 50.

11. **Медведев, Г.В.** Влияние экспериментального исследования влияния каталитической очистки отработавших газов и добавление в топливо антидымной присадки на основе хлорированного углерода, подаваемой в цилиндр через форсунку с топливом, на уровни вредных выбросов дизеля 8Ч12/12 / Т.А. Стопарева, В.В. Деркачев, Г.В. Медведев// Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 59 - 67.

12. **Медведев, Г.В.** Совершенствование каталитической очистки газов за счет

подачи воздуха перед блоками окисления/ Г.В. Медведев, А.А. Мельберг, А.А. Жуйкова, А.Л. Новоселов // Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул, : Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 76 - 82.

13. **Медведев, Г.В.** Повышение качества очистки отработавших газов дизеля в каталитическом нейтрализаторе/ А.Л. Новоселов, Г.В. Медведев, Н.Н. Грабовская// Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 83 -88.

14. **Медведев, Г.В.** Повышение эффективности очистки отработавших газов дизеля путем подачи раствора аммиака в реактор нейтрализатора/ А.Л. Новоселов, Г.В. Медведев, Ю.В. Павлова// Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 89 - 94.

15. **Медведев, Г.В.** Прочность пористых проницаемых фильтров для нейтрализаторов/ С.Н. Павлов, Г.В. Медведев// Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики (ЭЭТПЭ-2008): Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.- Барнаул: ОАО «Алтайский дом печати», 2008. - С. 58 - 60.

16. **Медведев, Г.В.** Определение размеров и извилистости пор в фильтрующих СВС – материалах/ Г.В. Медведев, В.В. Бразовский, Г.М. Кашкаров, С.Н. Павлов// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 86 - 90.

17. **Медведев, Г.В.** Экспериментальный комплекс для оценки эффективности очистки отработавших газов в устройствах с пористыми проницаемыми каталитическими СВС – фильтрами/ Г.В. Медведев, В.В. Бразовский, Г.М. Кашкаров, А.Л. Новоселов, Д.Н. Титов// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 98 - 102.

18. **Медведев, Г.В.** Модель очистки дисперсных потоков отработавших газов/ Г.В. Медведев, Н.П. Тубалов, В.В. Бразовский, Д.Н. Титов//Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ. - 2007. - С. 71 - 74.

19. **Медведев, Г.В.** Повышение экологических и технико-экономических показателей автотракторных двигателей путем компенсации овальности цилиндров/ А.В. Горбачев, Г.В. Медведев// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ. - 2005. - С. 117 - 123.

20. **Медведев, Г.В.** Способ повышения экологичности и экономичности автотракторных двигателей/ Г.В. Медведев, А.В. Горбачев // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ. - 2005. - С. 146 - 150.

Подписано в печать 20.11.2009. Формат 60×84 1/16. Печать - ризография. Усл.п.л. 0,93  
Тираж 100 экз. Заказ 175/2009.

**Издательство Алтайского государственного технического  
университета им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.**  
Лицензии: ЛР № 020822 от 21.09.98 года, ПЛД № 28-35 от 15.07.97  
Отпечатано в ЦОП АлтГТУ 65638, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46

