

На правах рукописи

Султанов Тимур Фаритович

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ  
ВЫБРОСОВ ПОРШНЕВЫХ ДВС С КАТАЛИТИЧЕСКИМ  
НЕЙТРАЛИЗАТОРОМ ЗА СЧЕТ СТАБИЛИЗАЦИИ ТЕМПЕРАТУРЫ  
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

(Специальность 05.04.02 - «Тепловые двигатели»)

Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Барнаул- 2007

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «15 Центральный автомобильный ремонтный завод» Министерства обороны РФ

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
Кукис Владимир Самойлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Юр Геннадий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент  
Кузьмин Алексей Геннадьевич

Ведущая организация - ОАО НИИ Автотракторной техники

Защита состоится 10 октября 2007 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 2127004.03 при Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038 г. Барнаул, пр. им. В.И. Ленина, 46 (тел/факс (3852) 26 05 16; E-mail: D21200403@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета.

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

Автореферат разослан « 5 » сентября 2007 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
канд. техн. наук, доцент

А.Е. Свистула

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования** обуславливается противоречием между безальтернативной сегодня потребностью человечества продолжать широкое использование поршневых ДВС (ПДВС) для своих нужд, с одной стороны, и необходимостью уменьшения вредного воздействия этих двигателей на человека и окружающую среду – с другой. Без, хотя бы частичного, разрешения этого противоречия существование человечества в сравнительно близком будущем станет проблематичным.

Учитывая, что практически все конструктивные решения, направленные на уменьшение вредных выбросов, приводят к тем или иным негативным последствиям (Варшавский И.Л., Жегалин О.Н., Новоселов А.Л., Смайлис В.И. и др.), наиболее перспективным и целесообразным на современном этапе можно считать внедрение в практику специальных устройств для нейтрализации (в частности, каталитических нейтрализаторов - КН) и фильтрации ОГ, устанавливаемых в выпускной коллектор или за ним, в сочетании с малотоксичными регулировками.

При этом следует иметь в виду, что эффективность работы КН существенно зависит от температуры ОГ. Причем, вредны как малые, так и чрезмерно высокие ее значения. Между тем большую часть времени силовые установки мобильной техники работают на переменных скоростных и нагрузочных режимах. В результате этого температура ОГ колеблется в широких пределах (от 120 до 750 °С и выше), что создает **научную проблему** обеспечения оптимального температурного режима работы КН.

Можно предположить, что решение указанной научной проблемы возможно путем использования стабилизатора температуры ОГ, установленного в выпускной системе ПДВС и обеспечивающего практическую неизменность температуры процессов в КН при работе двигателя на различных режимах. Однако примеры использования стабилизатора температуры ОГ ПДВС, работающего по принципу теплового аккумулятора, в литературе практически отсутствуют, что и предопределило цель диссертационной работы.

**Цель** настоящего исследования – повысить эффективность снижения вредных выбросов поршневых ДВС с каталитическим нейтрализатором за счет стабилизации температуры отработавших газов при работе двигателей на переменных режимах.

**Объектом исследования** служили энергетические процессы, происходящие в стабилизаторе температуры отработавших газов, содержащем теплоаккумулирующее вещество, находящееся в состоянии фазового перехода.

**Предметом исследования** являлись закономерности изменения температуры ОГ при прохождении их через стабилизатор температуры и влияние этих изменений на эффективность снижения концентрации вредных веществ в каталитическом нейтрализаторе.

**Методы исследования.** Для решения перечисленных выше задач и достижения поставленной цели в работе использовались: основные положения классической термодинамики и теории теплообмена теоретический анализ; обобщение научной и специальной литературы; теоретические и экспериментальные методы исследования, методы математического моделирования, математической и статистической обработки экспериментальных результатов. Работа носит теоретико-экспериментальный характер. В опытах использовалась современная измерительная и вычислительная аппаратура.

**Обоснованность и достоверность результатов** подтверждаются применением комплекса современных информативных и объективных методов исследования, подбором современной измерительной аппаратуры, ее систематической проверкой и тарировкой, соблюдением требований соответствующих стандартов и руководящих документов на проведение испытаний и корректной статистической обработкой экспериментальных данных с использованием ПК. Научные положения и выводы подтверждены результатами, полученными в ходе натуральных экспериментов.

**Научная новизна** результатов работы заключается в следующих положениях, **выносимых** автором **на защиту**:

1. Разработана физическая и математическая модели энергетических процессов, происходящих в стабилизаторе температуры ОГ нового типа, установленном в выпускном тракте ПДВС перед КН.

2. Впервые введено понятие «интегральный коэффициент эффективности нейтрализации», суммарно учитывающий результаты изменения степеней превращения вредных веществ в ОГ ПДВС после их прохождения через КН.

3. Разработан способ определения температуры ОГ, при которой обеспечивается максимальное значение интегрального коэффициента эффективности нейтрализации вредных веществ в ОГ ПДВС.

4. Предложено решение задачи сохранения температуры ОГ на уровне, обеспечивающем получение максимального значения интегрального коэффициента эффективности нейтрализации вредных веществ в ОГ ПДВС.

**Практическая ценность работы.** Предложенные способ и методика определения целесообразной температуры ОГ, позволяют устанавливать ее значение для любого конкретного двигателя.

Система уравнений, описывающая энергетические процессы в стабилизаторе температуры ОГ, позволяет определять его конструктивные параметры, при которых обеспечивается получение требуемой температуры ОГ во время работы двигателя на различных режимах.

Экспериментально подтверждена возможность решения задачи стабилизации температуры ОГ на уровне, обеспечивающем получение максимального значения интегрального коэффициента эффективности нейтрализации вредных веществ в ОГ ПДВС при работе на различных режимах.

**Реализация результатов работы.** Получен патент на полезную модель КН с системой стабилизации температуры происходящих в нем процессов. Материалы диссертации используются на 88 Центральном автомобильном ремонтном заводе Министерства обороны РФ (г. Чита); при выполнении курсовых и дипломных работ, а также при чтении отдельных разделов лекций по дисциплинам «Двигатели военной автомобильной техники» и «Теплотехника» в Челябинском высшем военном автомобильном командно-инженерном училище

**Апробация работы.** Материалы диссертации были доложены и обсуждены: на научно-методических семинарах с участием сотрудников кафедр двигателей и эксплуатации военной автомобильной техники Челябинского высшего военного автомобильного командно-инженерного училища (2004-2007 гг.); техническом совете ФГУП «15 Центральный автомобильный ремонтный завод» Министерства обороны РФ (Г. Новосибирск, 2004-2007 гг.); IV Международной научно-практической конференции «Новые топлива с присадками» (г. Санкт-Петербург, 2006); Первой Международной научно-технической конференции «Эксплуатация и методы исследования систем и средств автомобильного транспорта» (г. Тула, 2006); IV Международном технологическом конгрессе «Военная техника, вооружение и современные технологии при создании военного и гражданского назначения» (г. Омск, 2007).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ (в том числе две в перечне изданий, установленном ВАК) и получен патент на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертация содержит 170 страниц машинописного текста, включающего 50 рисунков, 33 таблицы и состоит из введения, пять глав, заключения, списка основной использованной литературы (176 наименований) и приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, его научная новизна и практическая ценность, конкретизированы объект и предмет исследования, приведены научная новизна и основные положения работы, выносимые автором на защиту, дана общая характеристика диссертационного исследования.

В **первой главе** рассмотрены особенности ПДВС как источника экологической опасности, нормирование вредных выбросов с их отработавшими газами, пути снижения количества токсичных компонентов в ОГ ПДВС. Показано, что практически все конструктивные решения, направленные на уменьшение вредных выбросов, приводят к тем или иным негативным последствиям (Варшавский И.Л., Жегалин О.Н., Новоселов А.Л., Смайлис В.И. и др.), наиболее перспективным и целесообразным на современном этапе можно считать

внедрение в практику специальных устройств для нейтрализации (в частности, КН) и фильтрации ОГ, устанавливаемых в выпускной коллектор или за ним, в сочетании с малотоксичными регулировками. Особое внимание уделено влиянию режима работы двигателей и температуры их ОГ на эффективность процессов каталитической нейтрализации. Показано, что с этой точки зрения вредны как малые, так и чрезмерно высокие ее значения. На основании сказанного сделан вывод о необходимости стабилизации температуры отработавших газов на входе в КН. При этом уровень стабилизированной температуры должен обеспечивать высокую эффективность процессов нейтрализации при работе ПДВС на различных режимах. На основании материалов главы сформулированы цель и задачи исследования

Во *второй главе*, прежде, всего были рассмотрены вопросы обеспечения уровня температуры отработавших газов, соответствующего эффективной работе КН при эксплуатации дизеля на переменных режимах. Уточнено понятие «Тепловой аккумулятор», рассмотрены принцип действия и устройство тепловых аккумуляторов (ТА). Выбран тип ТА для обеспечения стабилизации температуры ОГ (высокотемпературный, краткосрочный накопитель энергии с пассивным теплообменом, аккумулирующий энергию с использованием фазового перехода).

Во втором разделе главы дано подробное описание термодинамической картины процессов энергообмена в стабилизаторе температуры ОГ, а также математической модели, описывающей происходящее (с указанием принятых допущений, граничных и начальных условий). Полученная замкнутая система включает уравнения: энергетического баланса; коэффициентов теплопередачи между ОГ и теплоаккумулирующим веществом (ТАВ), находящимся в твердом, двухфазном и жидком состояниях; критериальные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи при передаче теплоты от ОГ к поверхности стенки стабилизатора температуры, разделяющей ОГ и ТАВ, и обратно; зависимости для расчета теплоты, расходуемой на фазовый переход ТАВ из твердого состояния в жидкое или наоборот.

Разработанная математическая модель дает возможность определять величины тепловых потоков и расходные характеристики в четырех случаях. Первый соответствует ситуации, при которой ТАВ находится только в твердой фазе; второй – когда в ТАВ одновременно имеются две фазы – жидкая и твердая; в третьем случае ТАВ находится только в жидкой фазе при температуре фазового перехода и в четвертом ТАВ находится только в жидкой фазе, при температуре, превышающей температуру фазового перехода. Исходными данными для расчетов являлись: теплофизические характеристики (плотность, теплоемкость, теплопроводность), температура и расход ОГ, поступающих в стабилизатор температуры; теплофизические характеристики ТАВ (плотность, теплоемкость и теплопроводность твердой и жидкой фаз, температура плавления) и материала стенок, разделяющих теплоносители (плот-

ность, теплоемкость, теплопроводность), а также массогабаритные и конструктивные характеристики элементов стабилизатора температуры (внутренний и наружные диаметры стенки, разделяющей теплоносители, длина и масса этой стенки, наружный диаметр стабилизатора, межтрубное расстояние, масса ТАВ). Расчеты осуществлялись по двум возможным режимам работы стабилизатора - «заряд» и «разряд», в каждом из которых вычисления производились для случаев, когда ТАВ находится только в твердом, твердом и жидком состояниях одновременно и только в жидком состоянии. Искомыми величинами являлись: температура ОГ на выходе из стабилизатора температуры ОГ, суммарная длина трубок и связанная с этим показателем масса ТАВ.

Программа расчета реализована в интегрированном пакете MathCad.

В *третьей главе* изложены программа и методика экспериментально-исследования. Программа включила шесть этапов. *Первый* был посвящен определению и обеспечению целесообразного уровня температуры ОГ на входе в КН с точки зрения обеспечения высокой эффективности процессов нейтрализации при работе дизеля на различных режимах. Целью *второго* этапа являлось проверка адекватности математической модели процессов в стабилизаторе температуры ОГ. На *третьем* этапе исследования проводилась оценка эффективности применения стабилизатором температуры ОГ при работе дизеля КамАЗ-740 на режимах скоростных и нагрузочной характеристик. Цель *четвертого* этапа состояла в сравнении концентрации вредных выбросов дизеля КамАЗ-740 с различной комплектацией выпускной системы при его работе по Правилу ЕЭК ООН №49.02 (по тринадцати режимному циклу) с требованиями EURO-2 и EURO-3. На *пятом* этапе оценивалась эффективность стабилизации температуры ОГ перед их входом в КН при работе дизеля КамАЗ-740 на режимах ездового испытательного цикла ECE R15/05. Цель *шестого* этапа состояла в определении эффективности применения стабилизатора температуры ОГ на характерных эксплуатационных режимах дизелей грузовых автомобилей и в оценке экономического эффекта от снижения вредных выбросов за счет стабилизации температуры ОГ в этих условиях.

Методика определения целесообразного уровня стабилизации температуры ОГ перед их попаданием в КН заключалась в следующем. Для каждого вредного компонента с использованием математической модели каталитической нейтрализации ОГ, разработанной учеными Алтайского государственного технического университета, рассчитывали степени превращения вредных компонентов при различных режимах работы дизеля:

$$\Delta \bar{C}_{ni} = \frac{C_i - C_i^H}{C_i} = 1 - \frac{C_i^H}{C_i} = 1 - \Delta C_{ni}$$

где  $C_i$  и  $C_i^H$  - концентрации  $i$ -го вредного компонента в ОГ двигателя перед и после КН.

Затем складывали степени превращения вредных компонентов на каждом режиме работы дизеля и строили график  $\Delta \bar{C}_{\text{ни}} = f(T_{\text{ог}})$ . По характеру кривой делали вывод о значении температуры ОГ, позволяющей обеспечить наиболее эффективную работу КН на рассматриваемом режиме работы двигателя. Совместный анализ указанных кривых на всех исследованных режимах позволил сделать вывод о целесообразном значении температуры ОГ на входе в КН. Выбор ТАВ, позволяющего стабилизировать температуру ОГ на установленном уровне перед их попаданием в КН при работе дизеля на различных режимах производился из следующих соображений. Эти вещества прежде всего, должны иметь температуру фазового перехода близкую, к требуемой температуре ОГ на входе в КН, и возможно большее значение теплоты фазового перехода. Они не должны разлагаться при плавлении и не растворяться в избыточной воде. Теплоаккумулирующие материалы должны: кристаллизоваться отдельными кристаллами; иметь возможно меньшую разницу плотности твердой и жидкой фаз, иметь низкую степень токсичности и агрессивности по отношению к материалу емкости, в которой они находятся.

В главе приведены режимы испытаний, по которым проводились все последующие этапы экспериментального исследования. Большинство из них соответствует тем или иным стандартам и не требует пояснений. Заслуживает отдельного внимания лишь характеристика режимов, по которым проводили шестой этап (рис. 1).

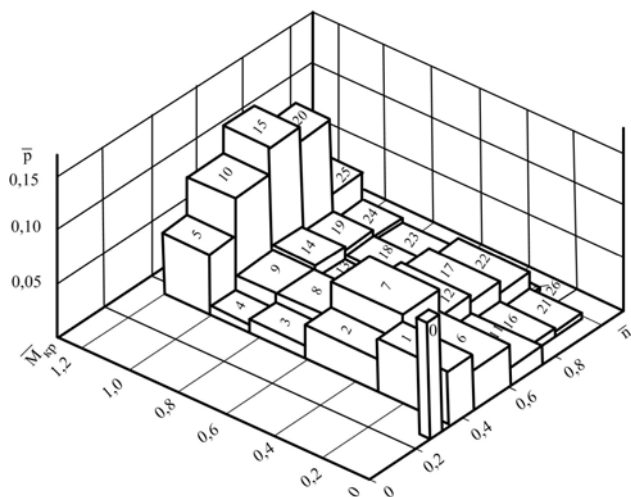


Рис. 1. Вероятностное распределение полигонов эксплуатационных режимов дизелей грузовых автомобилей при движении по городскому и междугороднему циклам



В четвертой главе дано описание экспериментальных установок. В их число вошли:

а). Специальный стенд для изучения процессов теплообмена в стабилизаторе температуры ОГ, подтверждения возможности стабилизации температуры ОГ на входе в КН и оценки адекватности математической модели происходящих в нем процессов. Испытаниям подвергался стабилизатор температуры кожухотрубного типа с фазовым переходом ТАВ. Газодинамическое сопротивление при продувке воздухом с температурой  $25 \pm 10$  °С и расходе  $570 \pm 10$  м<sup>3</sup>/ч составляло не более 2,4 кПа; площадь поверхности теплообмена 1,48 м<sup>2</sup>; количество трубок – 235; ТАВ - LiOH; масса стабилизатора - 10 кг, в том числе ТАВ - 4,5 кг.

б). Экспериментальная установка для стендовых исследований содержания вредных веществ в ОГ дизеля КамАЗ-740.

в). Экспериментальный автомобиль для натуральных ездовых испытаний.

Проведена оценка погрешностей измерений и расчетов, подтвердившая, что измерительная аппаратура обеспечивает требуемую достоверность полученных результатов.

**Пятая глава** содержит результаты экспериментальных исследований.

Определение целесообразного уровня температуры ОГ на входе в КН (*первый этап*) производилось для режимов, соответствующих работе дизеля КамАЗ-740 по внешней скоростной характеристике.

Рис. 2 и 3 иллюстрируют изменение степеней превращения вредных компонентов ОГ при их прохождении через КН на трех скоростных режимах.

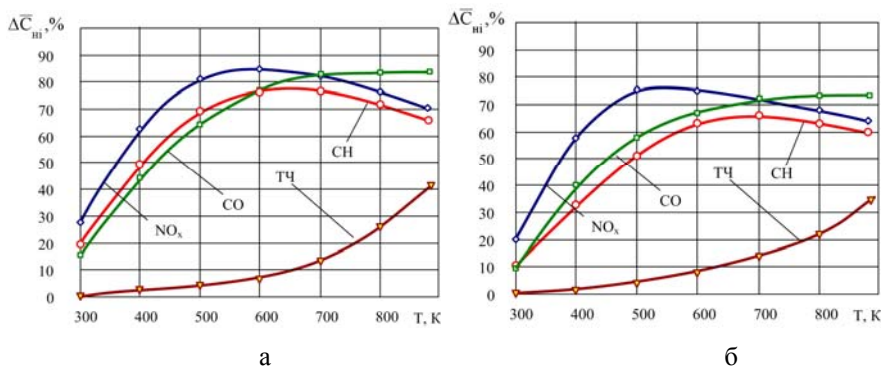


Рис. 2. Изменение степеней превращения вредных компонентов в зависимости от температуры ОГ:

а - ( $n=1000 \text{ мин}^{-1}$ ; расход ОГ - 11,6 кг/с; часовой расход топлива - 13,0 кг/ч);

б - ( $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ ; расход ОГ - 20,8 кг/с; часовой расход топлива - 22,1 кг/ч)

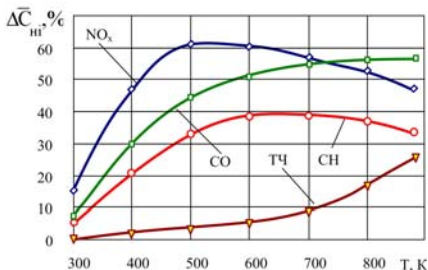


Рис. 3. Изменение степеней превращения вредных компонентов в зависимости от температуры ОГ ( $n=2600 \text{ мин}^{-1}$ ; расход ОГ - 30,0 кг/с; часовой расход топлива - 31,1 кг/ч)

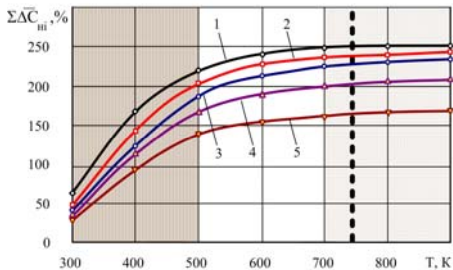


Рис. 4. Суммарное изменение степеней превращения вредных компонентов в зависимости от температуры ОГ: 1 -  $n=1000 \text{ мин}^{-1}$ ; 2 -  $n=1400 \text{ мин}^{-1}$ ; 3 -  $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ ; 4 -  $n=2200 \text{ мин}^{-1}$ ; 5 -  $n=2600 \text{ мин}^{-1}$

Представленные графики свидетельствуют о некоторых общих закономерностях изменения степеней превращения каждого отдельного компонента при любых режимах. Так, эффективность нейтрализации  $\text{NO}_x$  интенсивно нарастает с увеличением температуры до 500-550 К, после чего плавно снижается. Имеет максимум при температурах 600-700 К и кривая степени превращения СН. Эффективность нейтрализации СО непрерывно повышается с ростом температуры с зоне реакции доокисления, хотя при более высоких значениях температуры интенсивность этого роста замедляется. Степень превращения твердых частиц, наоборот, имеет четкую тенденцию к росту с повышением температуры.

Для определения целесообразного уровня температуры ОГ на входе в КН были просуммированы степени превращения рассмотренных вредных компонентов при одинаковых температурах ОГ на каждом их рассмотренных скоростных режимах. Результаты изменения суммы степеней превращения, представленные на рис. 4, позволяют сделать следующие выводы. До температуры в зоне реакций нейтрализации, равной 500 К, имеет место весьма интенсивное повышение интегральной эффективности процессов. В диапазоне температур 500-700 К эта тенденция. Затем повышение интегральной эффективности нейтрализации практически прекращается. Отмеченное свидетельствует о том, что целесообразным уровнем температуры ОГ дизеля КамАЗ-740 на входе в КН является диапазон 700-800 (меньшие температуры будут снижать эффективность процессов нейтрализации, а более высокие могут вести к перегреву реактора и корпуса КН).

Анализ свойств существующих материалов, которые могут быть использованы для аккумулирования энергии, показал, что наиболее приемле-

мым для обеспечения целесообразного уровня температуры ОГ на входе в КН является гидроксид лития. Он имеет практически оптимальную температуру фазового перехода (744 К), характеризуется весьма значительной теплотой фазового перехода (1080 кДж/кг), достаточно близкими величинами плотности в твердом и жидком состояниях (1460 и 1490 кг/м<sup>3</sup> соответственно). Последнее свойство облегчает разработку конструкции СТОГ, так как не требует создания объемных дополнительных расширительных полостей. Достаточно высокая теплопроводность и теплоемкость являются дополнительными доводами в пользу выбора гидрата лития.

Исследования, проведенные в ходе *второго этапа* экспериментов на стенде для изучения процессов в стабилизаторе температуры ОГ подтвердили предположение о возможности стабилизации их температуры практически на уровне температуры плавления теплоаккумулирующего вещества. Результаты экспериментального и расчетного определения температуры ОГ на выходе из стабилизатора статистически существенно не отличались друг от друга (допустимое различие не превышает 5 %).

Результаты исследования эффективности снижения вредных выбросов в случае установки перед КН стабилизатора температуры ОГ при работе дизеля по внешней и частичным скоростным, по нагрузочной и универсальным характеристикам (*третий этап* экспериментов) приведены в табл. 1 и 2

Таблица 1

Увеличение средних значений степеней превращения вредных компонентов за счет использования стабилизатора температуры отработавших газов при работе дизеля КамАЗ-740 на различных скоростных режимах

Скоростной режим, мин <sup>-1</sup>	$\Delta C_{CO}$ , %	$\Delta C_{CH}$ , %	$\Delta C_{NOx}$ , %	$\Delta C_{TЧ}$ , %
1000	27,4	-7,8	71,7	15,4
1400	20,0	7,4	83,3	68,8
1800	21,0	86,5	40,0	25,0
2200	40,0	41,2	52,4	9,1
2600	58,8	42,9	60,0	10,0

Таблица 2

Увеличение средних значений степеней превращения вредных компонентов за счет использования стабилизатора температуры отработавших газов при работе дизеля КамАЗ-740 на различных нагрузках

$p_e$ , МПа	$\Delta C_{CO}$ , %	$\Delta C_{CH}$ , %	$\Delta C_{NOx}$ , %	$\Delta C_{TЧ}$ , %
0,2	41,2	-10,2	24,1	21,4
0,3	89,5	6,9	8,1	21,4
0,4	129,0	17,2	-1,5	18,2
0,5	190,4	31,5	9,4	8,3
0,6	317,6	31,6	9,3	-7,1
0,7	327,3	12,5	6,3	-1,7

Как видно из таблиц, за редким исключением (объяснения которым даны в диссертации) применение стабилизатора температуры ОГ увеличивает средние значения степеней превращения вредных компонентов. Это позволяет утверждать, что стабилизация температуры ОГ при работе дизеля КамАЗ-740 на различных режимах заметно повысила эффективность снижения концентрации вредных веществ.

Определение выбросов вредных веществ с ОГ при работе дизеля КамАЗ-740 по 13-режимному испытательному циклу (*четвертый этап* экспериментального исследования) проводилось на стенде в соответствии с Правилом ЕЭК ООН №49.02. На рис. 5 показаны полученные при этом удельные выбросы вредных веществ (цифра 1 соответствует работе дизеля в штатной комплектации выпускной системы, 2 - с применением КН, 3 - с использованием стабилизатора температуры ОГ и КН).

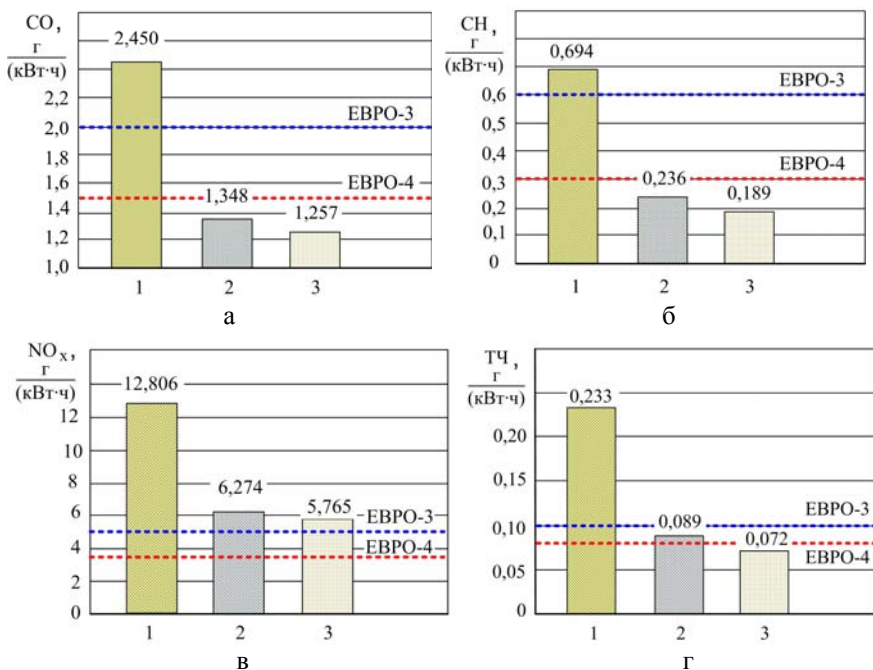


Рис. 5. Удельные выбросы вредных веществ с ОГ дизеля КамАЗ-740 при работе по 13-режимному циклу:

а - оксида углерода: б - углеводороды: в - оксиды азота: г - твердые частицы

Обобщенные результаты испытаний дизеля КамАЗ-740 при работе по 13-режимному циклу представлены в табл. 3

Таблица 3

Результаты испытаний дизеля КамАЗ-740 при работе по 13-режимному циклу

Оценочный показатель	$\delta \bar{g}^{13}$ , %	Отклонение от требований ЕВРО-3 и ЕВРО-4 {г/(кВт·ч)}			
		КН		Стабилизатор ОГ+КН	
		ЕВРО-3	ЕВРО-4	ЕВРО-3	ЕВРО-4
$g_{NOx}^{13}$	7,8	- 1,274	- 3,774	- 0,765	- 2,265
$g_{CO}^{13}$	12,1	+0,652	+0,152	+0,743	+0,243
$g_{CH}^{13}$	10,6	- 0,364	+0,064	+0,411	+0,111
$g_{TC}^{13}$	11,3	+0,11	- 0,009	- 0,028	+0,008

$g_i^{13}$  - удельные выбросы *i*-го вредного компонента при работе по 13-режимному циклу;

$\delta \bar{g}^{13}$  - относительное улучшение степени превращения *i*-го вредного компонента за счет стабилизации температуры ОГ

Материалы рис. 5 и табл. 3 свидетельствуют о том, что оборудование КН стабилизатором температуры ОГ позволило несколько снизить содержание вредных веществ в ОГ дизеля КамАЗ-740 при работе по 13-режимному циклу. При этом положительное влияние стабилизации температуры ОГ чуть более заметно проявилось в ходе окислительных процессов и составили в среднем 11,3 %. Заметим, что относительно слабое влияние стабилизации температуры ОГ на выбросы вредных веществ при работе дизеля по 13-режимному циклу связано с тем, что режимы этого испытательного цикла не характерны для работы транспортного двигателя - повышение температуры ОГ (а значит, и интенсивности каталитических процессов) за счет СТОГ имело место только на пяти режимах.

В ходе *пятого этапа* экспериментального исследования проводилась оценка эффективности стабилизации температуры ОГ перед их входом в КН при испытаниях автомобиля УРАЛ-4320 с дизелем КамАЗ-740 по 11-ти километровому испытательному ездовому циклу, соответствующему условиям ECE R15/05. Обработка усредненных результатов, полученных за пять повторных 11-ти километровых циклов, показала, что размах колебаний температуры ОГ на входе в стабилизатор температуры ОГ составил 490 К, на выходе из него - 12 К, коэффициент вариации на входе в стабилизатор равнялся 41 %, на выходе - 1,1 %. Коэффициент стабилизации температуры колебался в пределах 0,53-1,08 %.

На *шестом этапе* экспериментального исследования проводились стендовые натурные испытания дизеля КамАЗ-740 (в штатной комплектации выпускной системы; при оборудовании выпускной системы дизеля КН и при установке перед КН стабилизатора температуры ОГ) на эксплуатационных режимах, характерных для грузовых автомобилей.

На рис. 6 показаны характеристики выбросов вредных веществ с ОГ дизеля КамАЗ-740 при работе на режимах, соответствующих движению грузового автомобиля по городу и шоссе

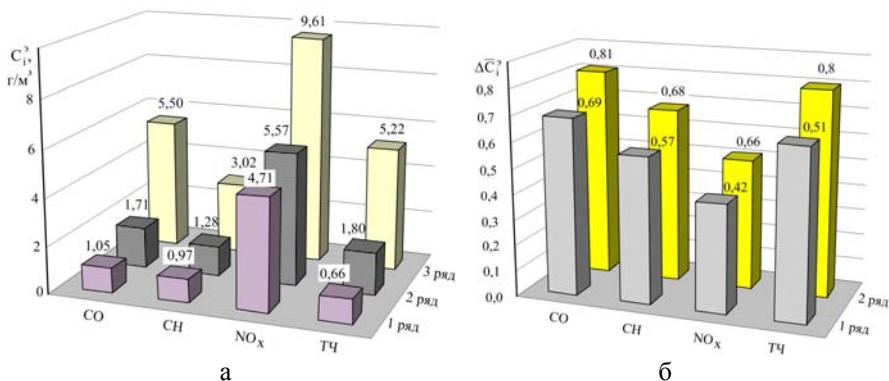


Рис. 6. Характеристики выбросов вредных веществ с ОГ дизеля КамАЗ-740 при работе на режимах, соответствующих движению грузового автомобиля по городу и шоссе:

а - абсолютные величины эксплуатационных выбросов; в - эксплуатационные степени превращения вредных веществ в КН; 1 ряд - при работе с КН и стабилизатором температуры ОГ; 2 ряд - при работе с КН без стабилизатора температуры ОГ; 3 ряд - при работе в штатной комплектации.

Рис. 7 иллюстрирует относительное улучшение степеней превращения вредных компонентов в ОГ дизеля КамАЗ-740 за счет стабилизации их температуры при эксплуатации на рассматриваемых режимах.

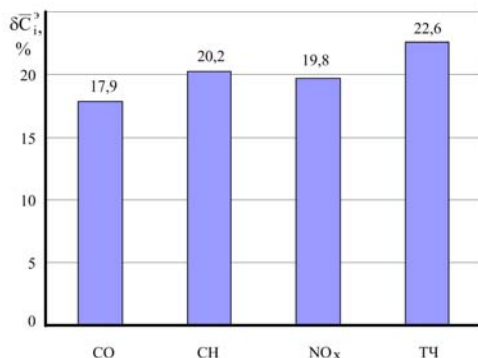


Рис. 7. Относительное улучшение степеней превращения вредных веществ в ОГ дизеля КамАЗ-740 за счет стабилизации их температуры при работе на режимах, соответствующих движению грузового автомобиля по городу и шоссе

Представленный на рис. 6 и 7 материал неоспоримо свидетельствуют о целесообразности применения стабилизатора температуры ОГ в комплексе с КН.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Создана система стабилизации температуры отработавших газов на уровне обеспечивающем, высокую эффективность снижения концентрации вредных веществ в каталитическом нейтрализаторе при работе поршневых ДВС на различных режимах.

2. Разработана физическая и термодинамическая модели процессов энергообмена в стабилизаторе температуры отработавших газов. Это позволило создать математическую модель, описывающую рассматриваемые процессы, использование которой дает возможность:

- исследовать температурное поле системы стабилизации температуры отработавших газов и энергетические потоки в ней;
- определять конструктивные характеристики стабилизатора температуры отработавших газов;

Адекватность математической модели проверена и подтверждена (с достоверностью не менее 95 %).

3. Предложен и реализован способ определения значения температуры отработавших газов на уровне, обеспечивающем высокую эффективность снижения концентрации вредных веществ в каталитическом нейтрализаторе при работе поршневых ДВС на различных режимах.

4. Экспериментально определено, что целесообразным уровнем температуры отработавших газов дизеля КамАЗ-740 на входе в каталитический нейтрализатор является диапазон температур 700-800 К. Подобрано теплоаккумулирующее вещество для стабилизатора температуры отработавших газов - гидроксид лития (с температурой фазового перехода 744 К

5. Исследовано влияние установки стабилизатора температуры отработавших газов перед каталитическим нейтрализатором на снижение вредных выбросов дизеля КамАЗ-740:

- При работе по внешней и частичным скоростным, а также по нагрузочной характеристикам. Установлено, что за счет использования стабилизатора температуры отработавших газов при работе дизеля КамАЗ-740 на различных скоростных режимах наиболее существенно происходит увеличение средних значений степеней превращения оксидов азота (40,0-83,3 %); менее заметно - оксида углерода (21,0-58,8 %); твердых частиц (9,1-68,8 %). Увеличения среднего значения степеней превращения углеводородов при частоте вращения коленчатого вала 1000 мин<sup>-1</sup> не происходит (оно уменьшается на 7,8 %), но на больших оборотах положительный эффект несомненен, причем и при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> достигает 86,5 %. Увеличение средних значений степеней превращения вредных компонентов за счет использования стабилизатора

температуры отработавших газов при работе дизеля КамАЗ-740 на различных нагрузках очень значительно в отношении углеводородов (41,2-327,3 %). Для остальных компонентов этот показатель составляет максимально примерно 30 %.

- При работе дизеля КамАЗ-740 по 13-режимному испытательному циклу в случае установки перед каталитическим нейтрализатором стабилизатора температуры отработавших газов относительное улучшение степени превращения оксида углерода составило 12,1 %; углеводородов 10,6 %; оксидов азота-7,8%;твердыхчастиц-11,3 %.

- При работе дизеля КамАЗ-740 на режимах 11-ти километрового испытательного ездового цикла ECE R15/05. Результаты исследования показали, что в результате стабилизации температуры отработавших газов на входе в каталитический нейтрализатор размах ее колебаний составил 12 К, коэффициент вариации - 1,1 %. Коэффициент стабилизации температуры колебался в пределах 0,53-1,08 %.

- При работе на режимах, соответствующих движению грузового автомобиля по городу и шоссе относительное улучшение степеней превращения вредных компонентов в отработавших газах дизеля КамАЗ-740 за счет стабилизации их температуры составило: по оксиду углеводорода - 17,9 %, по оксидам азота - 19,8 %, по углеводородам - 20,2 %, по твердым частицам - 22,6 %.

6. Оборудование каталитического нейтрализатора стабилизатором температуры отработавших газов снижает приведенную массу годового выброса дизелем КамАЗ-740 вредных веществ на 65,17 т. Массы годового выброса оксида углерода уменьшаются на 1,50 т, углеводородов - на 0,17 т, оксидов углерода - на 1,42 т, твердых частиц – на 2,55 т.

7. Материалы диссертации используются на 88 Центральном автомобильном ремонтном заводе Министерства обороны РФ (г. Чита); НПК «Агродизель» (г. Москва); при выполнении курсовых и дипломных работ, а также при чтении отдельных разделов лекций по дисциплинам «Двигатели военной автомобильной техники» и «Теплотехника» в Челябинском высшем военном автомобильном командно-инженерном училище.

### **Основное содержание диссертации опубликовано в работах:**

1. *Султанов Т.Ф.* Повышение эффективности каталитического нейтрализатора за счет оборудования его тепловым аккумулятором / Т.Ф. Султанов, Д.В. Нефедов // Научный вестник. - Вып. 17. - Челябинск: ЧВВАКИУ, 2004. - С. 130-132.

2. *Султанов Т.Ф.* Математическое моделирование процессов теплопередачи в тепловом аккумуляторе с фазовым переходом / Т.Ф. Султанов, В.А. Романов // Научный вестник. - Вып. 17. - Челябинск: ЧВВАКИУ, 2004. - С. 127-130.



3. Султанов Т.Ф. Оптимизация теплового режима работы каталитического нейтрализатора / Т.Ф. Султанов // Совершенствование систем автомобилей, тракторов и агрегатов: Сб. статей. Барнаул: РАТ, АлтГТУ, 2006. - С. 86-89.

4. Султанов Т.Ф. Потоки энергии в выпускной системе ДВС, оборудованной каталитическим нейтрализатором со стабилизатором температуры отработавших газов / Т.Ф. Султанов // Совершенствование систем автомобилей, тракторов и агрегатов: Сб. статей. Барнаул: РАТ, АлтГТУ, 2006. - С. 89-94.

5. Кукис В.С. Снижение вредных выбросов транспортными средствами путем повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора / В.С. Кукис, Ф.Т. Султанов // Новые топлива с присадками: Материалы IV Международной науч.-практ. конференции. - С-Пб: Академия прикладных исследований, 2006. - С. 86-92.

6. Кукис В.С. Уменьшение выброса твердых частиц с отработавшими газами ДВС за счет повышения эффективности работы каталитического нейтрализатора / В.С. Кукис, Ф.Т. Султанов // Известия Тульского государственного университета. - Вып. 10 - Тула, 2006. - С. 126-131.

7. Султанов Т.Ф. Каталитический нейтрализатор с повышенной надежностью и эффективностью снижения вредных выбросов / Т.Ф. Султанов // Научный вестник. - Вып. 18. - Челябинск: ЧВВАКИУ, 2006. - С. 124-126.

8. Султанов Т.Ф. Методика определения целесообразного уровня стабилизации температуры отработавших газов для обеспечения эффективной работы каталитического нейтрализатора / Т.Ф. Султанов В.А., Романов // Научный вестник. - Вып. 19. - Челябинск: ЧВВАКИУ, 2007. - С. 123-125.

9. Султанов Т.Ф. Результаты исследования вредных выбросов дизеля КамАЗ-740 при работе по 13-режимному испытательному циклу / Т.Ф. Султанов, В.А. Романов // Научный вестник. - Вып. 19. - Челябинск: ЧВВАКИУ, 2007. - С. 118-123.

10. Кукис В.С. Термодинамика процессов теплообмена в выпускной системе поршневого ДВС, оборудованной стабилизатором температуры отработавших газов / В.С. Кукис, Т.Ф. Султанов, В.А. Романов // Транспорт Урала - Вып. 3, 2007. - С. 48-54

11. Султанов Т.Ф. Определение оптимального уровня температуры отработавших газов при снижении их токсичности в каталитическом нейтрализаторе / Т.Ф. Султанов // Материалы IV Международного технологического конгресса «Военная техника, вооружения и технологии двойного применения». - Омск, 2007. - С. 37-45.

12. Патент на полезную модель RU № 56480 U1 F01N 3/28. Каталитический нейтрализатор / Кукис В.С., Султанов Т.Ф. - 32006111998/22; Заявл. 11.04.06; Опубл. 10.09.06. Бюл. №25.