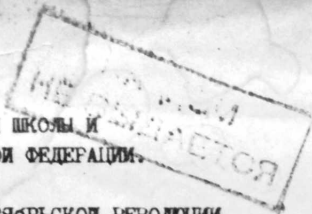


М 87107

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ, ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ И
ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ.



МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н. Э. БАУМАНА.

На правах рукописи

УДК 621.436.068.4:62-634.2.001.5

РЕДА НАДЕР ФАРИД

СНИЖЕНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И СГОРАНИЯ.

(специальность 05.04.02 - Тепловые двигатели)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

М О С К В А

1 9 9 2

Работа выполнена в лаборатории " Рабочие процессы и характеристики Д В С " инженерного факультета Российского Университета Дружбы Народов.

Научный руководитель - Кандидат технических наук,
доцент Фокин В.М.

Официальные оппоненты - Доктор технических наук,
профессор Пчелкин В.М.

- Кандидат технических наук
Пономарев Е.Г.

Ведущее предприятие - Центральный научно-исследовательский
автомобильный и автомобильный институт
(Н А М И).

защита диссертации состоится " 15 " февраля 1993 г. в 14⁰⁰
часов на заседании Специализированного Совета К 053.15.05. при
МГТУ им. Н.Э. Баумана по адресу : Москва, 107006, Лефортовская
наб., д.1, корпус факультета "Энергомашиностроение", ауд. 234а .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ.

Ваш отзыв на автореферат в
четыре учреждения, просим наг
2-я Бауманская ул., д.5, МГТУ
Специализированного Совета

Автореферат разослан

Ученый Секретарь
Специализированного С
кандидат технических
доцент

M 88107

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ. В основных направлениях экономического и социального развития многих стран, в том числе и Ливана, предусматривается дальнейшее расширение применения дизелей в различных отраслях народного хозяйства. В развитых странах планируется увеличение производства дизельных грузовых автомобилей и автопоездов, большегрузных карьерных автосамосвалов, освоение производства дизельных автобусов и ускорение перехода на изготовление легковых автомобилей с дизельными двигателями.

Но несмотря на очевидные преимущества дизелей по сравнению с другими двигателями внутреннего сгорания (ДВС), процесс смесеобразования и диффузионного сгорания неоднородной топливовоздушной смеси в дизеле сопровождается интенсивным выделением вредных веществ в атмосферу, таких как твердый углерод в виде сажи, окислы азота и другие вещества, что определяет дымность и токсичность выхлопа.

Непрерывное увеличение парка автомобилей и установок с дизельными ДВС приводит к необходимости решения актуальной социально-экономической и экологической проблемы - снижения токсичности и дымности отработавших газов (ОГ) дизелей.

Существующие в мировой практике дизельостроения методы снижения токсичности и дымности ОГ связаны либо с воздействием на рабочие процессы двигателя, либо с физико-химической обработкой ОГ. Это достигается, как правило, применением систем снижения дымности и токсичности, включая фильтрацию и нейтрализацию ОГ, а также соответствующей регулировкой дизеля. Однако в том и другом случаях происходит ухудшение экономичности дизеля, увеличение его металлоемкости, усложнение конструкции и технического обслуживания. Поэтому возрастающее внимание уделяется поискам технических решений с целью совершенствования рабочих процессов, отличающихся пониженным уровнем токсичности и дымности ОГ при сохранении высоких экономических показателей. Особая необходимость существует в снижении содержания наиболее вредных компонентов в ОГ дизелей: газообразного - окислов азота (NO_x) и дизельной сажи, определяющей дымность ОГ и являющейся носителем канцерогенного бенз(а)пирена. Наиболее простым и эффективным способом является применение различных присадок к топливу.

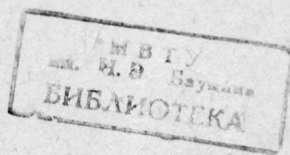
Теоретической основой для разработки малотоксичного рабочего процесса дизеля служит взаимосвязь между параметрами, характеризующими рабочий процесс и физико-химическими условиями в

НИД ИЛИ ИМ. Н. Э. Баумана



1087107

Реда Надер Фарид Снижение



камере сгорания (КС), определяющими показатели токсичности и дымности ОГ. Отыскание такой взаимосвязи позволяет оценивать уровень токсичности и дымности ОГ и рекомендовать способы их снижения. Наиболее эффективным средством физико-химического воздействия на параметры рабочего процесса является использование присадок химически активных соединений (ХАС) к топливу. Кроме того, данные неорганические ХАС дешевы, доступны, нетоксичны, и пожаробезопасны. Разработанная в Российском Университете Дружбы Народов (РУДН) на кафедре Комбинированных ДВС (КДВС) топливная аппаратура с обратным клапаном позволяет без существенной переделки дизеля, с малыми затратами решить задачу введения в КС через линии высокого давления (ЛВД) нерастворимых в топливе ХАС.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью исследования является изучение взаимосвязи между характеристиками процесса тепловыделения и токсичностью и дымностью ОГ дизелей и разработка на основе этой взаимосвязи практических рекомендаций по созданию рабочего процесса, обеспечивающего низкую токсичность ОГ.

В диссертации поставлены следующие задачи :

1) проведение анализа процесса тепловыделения в дизеле в начальной фазе объемного сгорания и его влияния на уровень токсичности ОГ; разработка рабочей гипотезы;

2) разработка физико-химических средств воздействия (ХАС) на внутрицилиндровые процессы, определяющие интенсивность образования токсических газообразных веществ и твердого углерода;

3) разработка методики изучения эффективности ХАС на основе физического моделирования на бомбе постоянного объема;

4) проведение экспериментальных исследований характеристик токсичности и дымности ОГ на дизеле с использованием ХАС и их количественной взаимосвязи с характером тепловыделения;

5) разработка рекомендаций по созданию рабочего процесса дизеля с пониженной токсичностью и их экспериментальная проверка.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Анализ состояния вопроса – по научным публикациям. Анализ механизмов образования токсичных веществ, существующих присадок к топливу и механизмов их воздействия. Физическое моделирование процессов в бомбе постоянного объема с использованием разработанных многокомпонентных присадок к топливу. Расчетно-экспериментальные исследования элементов системы ввода дозированных порций присадок в КС. Расчетно-экспериментальные исследования взаимосвязи параметров рабочего процесса с токсичностью и дымностью ОГ, с обработкой ряда экспериментальных

данных на ЭВМ. Экспериментальная проверка предложенных решений на одноцилиндровом 14 8,5/11 и на полноразмерных дизелях 44 11/12,5 (Д-242), 84 12/12 (КамаЗ-740), 44 8,89/10,1 (Perkins), с использованием газовалянитических приборов непрерывного и дискретного действия, а также дымомеров различного типа.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Научная новизна работы заключается в том, что подтверждена взаимосвязь между характеристиками объемного горения и тепловыделения в первой фазе, определяющего "жесткость" работы дизеля, с одной стороны, и концентрацией окиси азота в продуктах сгорания, с другой. Уточнена методика расчета параметров процесса воспламенения. Разработан расчетно-экспериментальный метод оценки показателя характер сгорания для начального периода процесса сгорания. Исследован большой ряд неорганических веществ, обладающих эффектом воздействия на реакционную способность углеводородовоздушной смеси, снижающих токсичность и повышающих топливную экономичность дизеля. Доработаны и оптимизированы конструктивные и функциональные параметры систем подачи ХАС в КС дизеля. Разработана классификация предложенных соединений по эффекту данного воздействия. Оптимизирован процентный состав разработанных присадок к топливу. Показаны возможности улучшения экономичности и форсирования дизеля по частоте вращения и удельной мощности с применением присадок при сохранении заданного уровня токсичности.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Создана экспериментальная исследовательская установка, позволяющая наряду с регистрацией параметров рабочего процесса регистрировать токсические показатели ОГ дизелей. Получены данные по токсичности и дымности ОГ дизелей 14 8,5/11, 44 11,5/12 (Д-242), 84 12/12 (КамаЗ-740), 44 8,89/10,1 (Perkins), в их штатной и опытной комплектации. Даны конкретные рекомендации по созданию рабочего процесса дизелей с пониженной токсичностью и дымностью ОГ и проведена их проверка экспериментально. По результатам экспериментальных и расчетных исследований разработаны рекомендации по рациональному выбору присадок. Созданы нетоксичные высокоэффективные комбинированные присадки к топливу, имеющие низкую стоимость, удобные для практического использования и способствующие улучшению энергетических и экономических показателей дизеля. Разработаны рекомендации по организации рабочих процессов дизеля при работе на топливе с этими присадками. В результате получено существенное (до 30 %) уменьшение концентрации NOx и значительное (до 60 - 70 %) снижение

дымности ОГ на основе метода физико-химического воздействия на процессы воспламенения и сгорания.

АПРОВАБАЦЫЯ РАБОТЫ. Диссертационная работа заслушана, обсуждена и одобрена на заседании кафедры КДВС инженерного факультета РУДН. Основные положения диссертации доложены на научно-технических конференциях РУДН в 1989-1992 г.г., на Всесоюзных научно-технических конференциях в г.г. Набережные Челны 1989 г., Днепрпетровск 1990, Ленинград 1990 г., Владимир 1991 г., Николаев 1991 г.

РЕАЛІЗАЦЫЯ РЕЗУЛЬТАТАВ РАБОТЫ. Результаты научно-исследовательской работы переданы в НАМИ, а также приняты к использованию для научных исследований в РУДН, НКИ (г. Николаев), ММЗ (г. Минск) и на основных заводах автопромышленности ВАЗ, КамАЗ, БелАЗ.

ПУБЛІКАЦЫІ. Основные положения диссертации изложены в семи печатных работах. Три статьи находятся в печати.

СТРУКТУРА І ОБ'ЕМ РАБОТЫ. Диссертация содержит 106 страниц машинописного текста, 54 рисунков, 6 таблиц и состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы, включающего 113 русских и 47 иностранных источников.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

ВО ВВЕДЕНИИ обоснована актуальность и сформулирована цель исследования. Приведены данные о содержании в ОГ и выбросах вредных веществ разными двигателями. Показано, что окислы азота NOx являются наиболее токсичными продуктами ОГ дизелей. Представлена ограниченная возможность применения известных методов и средств снижения токсичности в обычных условиях эксплуатации дизелей.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ рассмотрены и проанализированы работы русских и зарубежных ученых, посвященные вопросам снижения токсичности и дымности ОГ ДВС: А.И. Войнова, Р.В. Малова, Ю.Б. Свиридова, А.С. Соколика, С.А. Батурина, В.А. Звонова, В.И. Смайлеса, В.З. Махова, Е.Г. Пономарева, М.М. Вихерта, а также Старкмана, Смита, Стюарта, Мойрера, Скотта, Гейона, Ньюхала, Теснера и других.

Анализ экспериментальных исследований токсичности и дымности ОГ дизелей проведен по следующим основным направлениям:

- влияние параметров двигателей на условия сгорания и образования вредных веществ;
- влияние характера тепловыделения и сгорания;
- влияние топлива и присадок к нему.

Отдельно рассмотрены физические и математические модели процессов образования вредных веществ при сгорании в дизеле. Несмотря на известные различия в допущениях при построении моделей, авторы используют механизм образования NOx, предложенный В.Я.

Зельдовичем. В результате показана предпочтительность моделей, в которых рассмотрены локальные условия сгорания, структура топливовоздушного факела и учтена динамика тепловыделения.

Наибольшие затруднения в расчетах кинетики образования NO_x в КС дизеля связаны с оценкой и выбором значения температуры в зонах реакции. Влияние неоднородности состава смеси приводят к существенной разности температур в отдельных зонах КС, что делает различными и кинетические параметры, определяющие выход NO_x .

Многие авторы, указывают на то, что уменьшение дымности и токсичности связано как с воздействием на рабочие процессы дизеля, так и с физико-химической обработкой его ОГ. В зависимости от принятого механизма образования сажи и NO_x при сгорании топлива они пытаются обосновать механизмы воздействия присадок на дымность и токсичность ОГ. Другие считают, что присадки повышают полноту сгорания топлива, снижают содержание твердых частиц в ОГ. Третьи связывают снижение токсичности с ускорением процессов окисления топлива в предпламенный период. Катионы в органических присадках на основе металлов рассматриваются как каталитические активаторы процессов окисления углеводородов или как ингибиторы процесса дегидрогенизации молекул топлива, проявляющиеся на стадии предпламенных реакций. Практически отсутствуют публикации по применению в качестве присадок неорганических ХАС.

На основе анализа работ сделаны следующие выводы:

- 1) Образованию NO_x при сгорании в дизелях способствует объемное сгорание в начальной фазе процесса, характеризующееся высокими скоростями тепловыделения и нарастания давления, и образованием локальных зон с высокой температурой, соответствующей сильной диссоциации молекул при наличии в зонах свободного кислорода.
- 2) Серьезные трудности при изучении термодинамического состояния рабочей среды в цилиндре дизеля в период объемного сгорания связаны с отсутствием количественного метода определения кинетических показателей воспламенения.
- 3) До настоящего времени углубленные, комплексные исследования на ДВС неорганических ХАС, воздействующих на кинетику воспламенения и сгорания, не проведены. Конструктивные и функциональные параметры систем подачи этих соединений в КС ДВС не отработаны.

Ввиду ограниченности исследований по присадкам к топливу и противоречивости выводов по эффекту их воздействия на рабочие процессы двигателя не представлялось возможным подойти к целенаправленному выбору высокоэффективных, комбинированных присадок

в т.ч. и неорганических, и решению вопроса об их влиянии на топливную экономичность, а также к разрешению ряда других проблем.

Во ВТОРОЙ ГЛАВЕ рассмотрена возможность комплексного подхода физико-химического воздействия на процесс снижения токсичности и дымности химически активными присадками к топливу.

Наиболее радикальный метод борьбы с главным компонентом вредных выбросов дизеля - окислами азота - заключается в воздействии на процессы его образования при сгорании топлива. При использовании известных и уже разработанных способов такого воздействия, как правило, возникают побочные негативные эффекты.

Экспериментальными исследованиями была доказана взаимосвязь между экономичностью дизеля и токсичностью его ОГ по определяющему компоненту - NO_x . Ее сущность, выявленная на основе анализа опытных данных, выражается в том, что любое воздействие, направленное на сокращение выхода NO_x при сгорании в дизелях, как правило, приводит к снижению эффективного к.п.д. цикла (η_e).

Если принять, что выход NO_x и экономичность дизеля связаны комплексным параметром вида NO_x/η_e , то отмеченное свойство проявляется в том, что при всяких воздействиях на рабочий процесс, связанных с одновременным изменением NO_x и η_e , данный параметр стремится сохранить свою исходную величину, т.е., в первом приближении $\text{NO}_x/\eta_e \rightarrow \text{const}$. Универсальность связи η_e - NO_x у дизелей подтверждена исследованиями влияния различных конструктивных и регулировочных факторов на выбросы вредных веществ с ОГ.

Применяемое для снижения выхода NO_x , уменьшение мощности у дизелей практически создает лишь кажущийся эффект. При снижении концентрации NO_x удельный выброс ζ_{NO_x} либо не изменяется, либо несколько возрастает. Уменьшение выхода NO_x , как правило, сопровождается ростом выхода СО и дымности ОГ. Повышенный выброс с ОГ энергоспособных продуктов неполного сгорания подтверждает при этом правомерность зависимости NO_x - η_e или ζ_{NO_x} - η_e и может служить одним из критериев, лимитирующих целесообразные пределы снижения NO_x при проведении анитоксических регулировок дизеля.

Решение двуединой и противоречивой проблемы снижения расхода топлива и NO_x представляет собой сложную научную и практическую задачу, которая не может быть разрешима традиционными методами.

Характеристика тепловыделения в начальном периоде сгорания для режимов работы дизеля 14 8,5/11 при углах начала подачи $\theta=20$ и 30° существенно отличается интенсивностью процесса (большей для $\theta=30^\circ$). Расчетные температуры при $\theta=30^\circ$ также оказались

выше, что привело к более высокой концентрации NO_x и, принимая во внимание высокий удельный индекс концентрации NO_x , к большей токсичности продуктов сгорания при $\theta = 30^\circ$.

Исследованиями процесса тепловыделения в дизелях установлены два характерных периода, отличающихся природой сгорания и воздействием на механизм образования NO_x . Длительность начального периода составляет $4-12^\circ$ поворота коленвала (п.к.в.). Сгорание в этот период обладает признаками объемного сгорания, теплового взрыва и сопровождается высокой скоростью тепловыделения и нарастания давления в КС. Второй основной период процесса сгорания имеет продолжительность $40-50^\circ$ п.к.в. и связан с выгоранием основной части топлива. Здесь интенсивность процесса определяется диффузией паров топлива и окислителя в зону реакции.

Скорость тепловыделения в начальном периоде и продолжительность последнего определяются скоростью цепных реакций окисления углеводородов, которая зависит от реакционной способности топливовоздушной смеси. Опыты показывают, что количество тепла, выделившегося в начальный период, связано с продолжительностью периода задержки воспламенения и количеством горючей смеси, подготовленной за этот период.

Важнейшая характеристика процесса сгорания — его продолжительность, определяющая своевременность выделения теплоты по времени (по углу п.к.в.), формируется на основе тесного взаимодействия физико-химических факторов. в начальном и основном периодах. Так, процесс сгорания в основном периоде в значительной степени определяется эффективностью сгорания топлива в начальном периоде.

Для анализа термодинамического цикла дизеля на ЭВМ, и оценки влияния интенсивности тепловыделения в характерных периодах цикла на его показатели, использована система уравнений, представляющая собой математическую интерпретацию двойной функции проф. Вибе И.И. Анализ показывает, что на общую продолжительность процесса сгорания φ_z влияет продолжительность начального периода φ_n , интенсивность тепловыделения в начальном и основном периодах. Показатели характера сгорания в начальном m_n и основном m периодах определяют в них уровень максимальной скорости сгорания.

Уменьшение m_n приводит к сокращению φ_z и повышению максимальной скорости сгорания в начальном периоде $w_{\max}^I = (dx/d\varphi)_{\max}^I$, что приведет к увеличению жесткости работы двигателя, повышению максимальных скоростей нарастания давления и давления в цилиндре и к росту эмиссии NO_x . Иное влияние оказывают параметр φ_n и

показатель m . Уменьшение показателя m , повышая интенсивность тепловыделения, приводит к сокращению φ_z без изменения $W_{\max}^I$, за счет увеличения максимальной скорости сгорания основного периода $W_{\max}^I = (dx/d\varphi)_{\max}^I$. Аналогично действует уменьшение φ_n .

Таким образом, сокращение процесса сгорания в целях улучшения экономичности ДВС целесообразно обеспечивать повышением интенсивности тепловыделения в основном периоде за счет уменьшения показателя m , или уменьшения φ_n . Это позволит улучшить экономичность без ухудшения динамических показателей рабочего цикла, определяющих токсические качества (по NO_x) и надежность ДВС.

Математически обоснованна взаимосвязь между показателем m_n и скоростью $W_{\max}^I$, важнейшим определяющим параметром которой является количество топлива, испарившегося за период задержки воспламенения (τ_1). Доло топлива Θ_1 поданного за период τ_1 , можно определить по интегральным характеристикам впрыскивания, которые являются функцией нескольких переменных. Хорошая аппроксимация достигается степенной функцией вида $\Theta = A(\varphi/\varphi_B)^B$, где φ_B — продолжительность впрыскивания топлива, A и B — константы. Для расчета количества испарившегося топлива за период τ_1 ($\Theta_{\text{исп}}$) разработан алгоритм модели расчета $\Theta_{\text{исп}}$ на основе методики проф. Д.Н. Вырубова. Для отыскания функциональной связи между показателем m_n и $\Theta_{\text{исп}}$ проведен статистический анализ результатов обработки характеристик тепловыделения с использованием большого количества индикаторных диаграмм. Обобщенные результаты анализа аппроксимированы в виде функции: $m_n = K \exp(-C \cdot \Theta_{\text{исп}})$, где C и K — константы.

Эти зависимости были использованы для разработки алгоритма математической модели расчета параметров начального периода сгорания по известным характеристикам топливоподачи.

Схема поэтапного комплексного воздействия ХАС с целью снижения токсичности ОГ представлена на рис.1.

На этапе, характерном для предпламенных реакций, целесообразны присадки, которые способствовали бы сокращению длительности индукционного периода за счет активации предпламенных процессов окисления. На этапе видимого сгорания, и на последующем этапе диффузионного сгорания, целесообразны присадки, каталитически активизирующие процессы окисления, сгорания и дегорения топлива.

Из данной схемы становится очевидным, что создания высокоэффективных присадок связано с поиском химических активаторов, обладающих комплексом необходимых воздействий на всех стадиях рабочего процесса. Для обоснования направления поиска веществ

проведен предварительный анализ образования NO_x , проанализированы периоды предпламенной кинетики и активного горения.

Для периода предпламенных реакций, в рамках рабочей гипотезы можно предположить, что большинство химических превращений в КС дизеля идет по цепному механизму. В соответствии с представлениями теории цепных реакций акад. Н.Н.Семёнова, ведущая роль в их развитии принадлежит химически активным частицам, легко вступающим в соединение с исходными или промежуточными продуктами, возобновляя тем самым цепь превращений. Подобный многостадийный механизм развития реакций позволяет качественно оценить ускоряющее действие небольших доз активатора, вводимого в зону реакции, если рассматривать его как источник активных частиц.

Сделав допущение, что введение в зону реакции активатора соответствует увеличению числа активных частиц (при условии, что энергия активации процесса разложения активатора значительно ниже, чем процесса диссоциации углеводородов топлива), которое возрастает с ростом концентрации (δ) активатора и его эффективности, можно предположить, что произойдет соответствующее сокращение периода индукции на Δt . Эти предположения позволили оценить возможности сокращения длительности предпламенных реакций и уменьшения эффективной энергии активации воспламенения в зависимости от содержания введенной присадки и ее эффективности, что облегчало поиск веществ с повышенной реакционной способностью.

Проведены опыты по физическому моделированию ряда процессов дизеля в бомбе постоянного объема с присадками и без них. Метод лабораторного химического анализа, где оценочным критерием при выборе активаторов, является максимальная температура сгорания, позволил выявить ряд ХАС, обладающие эффектом снижения данной температуры. Результаты исследования образования NO_x и сажи в бомбе постоянного объема методом рассеяния на аэрозолях позволили выявить каталитическую способность ряда ХАС, их влияние на уменьшение периода индукции t_i и полноту сгорания топлива.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ поставлены и решены следующие задачи :

- 1) Получено экспериментальное подтверждение гипотезы о взаимосвязи характеристик тепловыделения начального периода (в т.ч. τ_H) и концентрации NO_x для различных дизелей.
- 2) Проведены испытания в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов и углов θ , т.е. в условиях, существенно отличающихся характеристиками тепловыделения в начальном периоде.
- 3) Разработан и исследован широкий спектр многофункциональных

ХАС, и доработана система их подачи в КС дизеля.

Эксперименты проведены на трех экспериментальных установках с дизелями 1Ч 8,5/11, 4Ч 11/12,5 (Д-242), 8Ч 12/12 (КамаЗ). Все испытания проводились на установившемся режиме. Даны описания системы подачи ХАС в КС дизелей.

Анализ ОГ на дизеле 1Ч 8,5/11 проводился газованалитической аппаратурой дискретного действия. Концентрация NO_x определялась фотоколориметрическим методом с использованием реактива Зальцмана на фотоэлектроколориметре типа "ЭК-56М". Точность анализа $\pm 5\%$. Концентрация СО определялась с помощью прибора "Бош" с точностью $\pm 1\%$. Анализ ОГ на дизелях Д-242, и КамаЗ-740 проводился на автоматическом газоанализаторе "БЕКМАН" непрерывного действия. Точность анализа составляет $\pm 1\%$. Дымность ОГ определялась дымомером "Бош-ЕРАУ-68А", работающего по принципу фильтрации ОГ. Индикаторные диаграммы записывались пневмоэлектро-индикатором "МАИ-2".

Эксперименты на дизеле 1Ч 8,5/11 показали что, в периоде объемного сгорания изменения m_n в зависимости от θ и концентрации NO_x в ОГ протекают согласованно. Вид кривых хорошо увязывается с представлениями о влиянии m_n на параметры объемного сгорания: с ростом m_n происходит резкое увеличение давления и температуры, что приводит к возникновению условий, соответствующих диссоциации молекул, в частности, кислорода и повышенному выходу NO_x . Различная интенсивность объемного сгорания, определяющая скорость тепловыделения, приводит к различной степени изменения указанных параметров и к различному выходу NO_x . При соответствующим изменении нагрузочных характеристик дизеля 1Ч 8,5/11 значительно изменяются параметры, определяющие кинетику образования и конечный выход NO_x . В этих условиях более объективный анализ обеспечивается при сравнении взаимосвязи m_n с величиной удельного выброса окислов азота G_{NO_x} , который зависит от изменения среднего эффективного давления P_e . Протекание кривых $m_n \sim f(P_e)$ и $G_{\text{NO}_x} \sim f(P_e)$ для различных n близко по своему характеру. Так и для регулировочной характеристики по θ , зависимость G_{NO_x} от m_n выражается в виде $G_{\text{NO}_x} = K \cdot \ln m_n$, хотя K для разных n различно.

Зависимость $G_{\text{NO}_x} = K \cdot \ln m_n$ подтвердили и эксперименты на дизеле Д-242, т.е. подтверждена однозначная взаимосвязь между удельными выбросами NO_x и интенсивностью тепловыделения в первой фазе, определяющей "жесткость" работы дизеля (рис.2).

В ходе исследования широкого спектра веществ, подаваемых в КС двигателя была проведена конструктивная доработка элементов и

узлов системы их подачи. Также доработана методика подачи ХАС.

В конце главы изложена методика обработки данных.

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ представлены анализ и разработка способов рациональной организации малотоксичного процесса сгорания в дизелях, результаты экспериментальных исследований воздействия многофункциональных ХАС на токсичность и дымность ОГ и на эффективные показатели дизелей 14 8,5/11, Д-242, КамАЗ-740, Perkins.

Сформулированы требования к организации процесса сгорания, обеспечивающего низкую токсичность и дымность ОГ. Главные из них: 1) Выбор рационального, по соображениям скорости тепловыделения и расхода топлива, момента начала подачи. 2) Управление процессами воспламенения и сгорания с целью снижения интенсивности тепловыделения в начальном периоде. 3) Уменьшение массы смеси, реагирующей в фазе объемного сгорания. 4) Расширение пределов воспламенения смеси, за счет повышения ее реакционной способности. 5) Снижение общей продолжительности процесса сгорания. 6) Выбор композиций наиболее активных ХАС, снижающих выбросов сажи и NO_x .

Анализ способов реализации указанных требований показал, что применение ХАС является перспективным способом управления воспламенением и сгоранием. При введении ХАС в КС заметно возрастает реакционная способность смеси, уменьшается эффективная энергия активации E , сокращается период индукции τ_i (рис.3), существенно уменьшается доля топлива, сгорающего в периоде объемного сгорания, увеличивается m_H , снижается W_{max}^I , уменьшается "жесткость" работы дизеля и, как следствие этого снижаются концентрации NO_x и сажи в его ОГ.

В результате испытаний показано, что кривые S_{NO_x} и $\ln m_H$ при применении ХАС имеют близкий характер протекания, что подтверждает справедливость предложенной гипотезы. Найдены наиболее активные ХАС по эффекту снижения NO_x . Выявлены их оптимальные концентрации в топливе (рис.4). Подтверждена роль катиона в их составе как носителя активирующего эффекта. Изучена взаимосвязь температуры диссоциации ХАС и его активности. Разработаны рекомендации по их качественному и количественному выбору.

Результатами обработки индикаторных диаграмм подтверждено влияние ХАС на токсичность ДВС через характер тепловыделения. Установлено снижение $T_{\text{ц}}^{\text{max}}$ и уменьшение интенсивности активного тепловыделения в фазе гомогенного сгорания. Этими изменениями в рабочем цикле дизеля объясняется снижение NO_x и сажи на выхлопе. Перераспределение окислителя между CO , CO_2 и NO_x приводит к

снижению атомарного кислорода в газовой среде и повышению концентрации нетоксичной CO_2 . Анализ твердых частиц, осажженных на фильтрах сажемера "Бош" показал, что ХАС способствуют снижению содержания в ОГ частиц углерода, частиц тяжелых углеводородов с канцерогенной активностью, а также альдегидов.

Проведена статическая обработка экспериментальных данных, заключающаяся в нахождении аппроксимирующей зависимости $C/\text{Co} = f(\delta)$ и получена экспоненциальная зависимость: $C/\text{Co} = \exp(-A \cdot \delta^B)$, характер которой сохраняется для всех исследуемых ХАС, где C, Co - концентрации NO_x при использовании ХАС и без них соответственно; δ - концентрация ХАС в топливе; A и B - постоянные коэффициенты, характеризующие эффективность ХАС (рис.4).

Воздействие ХАС на показатели рабочего процесса показывает, что в их присутствии уменьшается η , снижаются значения p_z^{max} , $(dp/d\varphi)_{\text{max}}$ и происходит перераспределение выделившегося тепла в цикле по периодам. Возрастает теплоиспользование в период диффузионного сгорания, а фаза гомогенного сгорания уменьшается. Максимумы скорости сгорания сближаются и располагаются ближе к ВМТ, φ_z уменьшается, что предопределяет возрастание эффективности термодинамического цикла, снижение g_i . Оценка удельного выброса NO_x и сажи с ОГ показала, что уровень их выбросов может удовлетворять принятым нормативам, когда базовая система топливоподачи не обеспечивает их выполнение.

Эксперименты на дизеле 14 8,5/11 показывают, что для организации более эффективного протекания рабочих процессов при применении ХАС целесообразно уменьшить угол θ на $3-4^\circ$ (рис.6). Это не приводит к дополнительному выходу NO_x , а на экономичность и на выход других токсических компонентов практически не влияет.

Испытания дизелей Д-242 (рис.7), КамАЗ-740 (рис.8), Perkins (рис.9) подтвердил высокую эффективность исследованных ХАС. Показано их воздействие на токсичность и экономичность дизелей. Тенденция к уменьшению угла θ сохраняется. Качественно аналогичный характер имеет аппроксимирующая зависимость $C/\text{Co} = \exp(-A \cdot \delta^B)$.

В ПЯТОЙ ГЛАВЕ на основе анализа результатов обосновывается перспективность применения высокоэффективных неорганических ХАС. С учетом выявленного различия в механизме действия отдельных ХАС, рекомендуются два направления по их разработке:

- 1) выбор комбинации соединений с взаимодополняющим эффектом.
- 2) Разработка соединений-промоторов, повышающих активность основных компонентов ХАС. Этот эффект используется как дополнительное

средство воздействия на кинетику выгорания углеводородов.

Исследованиями выявлено, что экономия топлива при использовании ХАС достигается как за счет оптимизации показателей теплоиспользования, так и за счет воздействия ХАС на кинетику образования сажи. Расчетно-экспериментальный анализ, проведенный с привлечением методики Д.Д. Матиевского, позволил оценить долю экономии топлива, полученной за счет снижения тепловых потерь при сажевыделении. Эта экономия составила около 2,5 %, при суммарной экономии 4 %. Таким образом, за счет эффекта оптимизации термодинамического цикла, вследствие активации процессов воспламенения и сгорания, достигалась экономия в пределах 1,5 % (рис.5).

Проведены предварительные исследования по получению ХАС путем паро-газовой конверсии ДТ, непосредственно в КС за счет каталитического покрытия ее стенок. Опыты на 1Ч 8,5/11 показали перспективность данного способа активации рабочего процесса.

Перспективным также является использование газообразных ХАС, например водород и водородосодержащие продукты переработки ДТ. Опыты, проведенные совместно с сотрудниками НКИ (г. Николаев), дают основание рассматривать водород как эффективный активатор. Подача водорода в КС осуществлялась тремя способами: непосредственно из баллона, из металлгидридного аккумулятора водорода и из плазмо-химического газификатора ДТ.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.

1. Аналитически обоснована и экспериментально подтверждена взаимосвязь между характеристиками тепловыделения в начальном периоде процесса сгорания и содержанием NO_x в ОГ дизелей.

2. Предложена уточненная математическая модель расчета параметров процесса воспламенения в дизелях с учетом изменения термодинамического состояния рабочего тела в КС.

3. Разработан метод организации рабочего процесса дизеля с улучшенными экономическими и экологическими показателями на основе применения средств физико-химического (комплексного) воздействия на процессы воспламенения, сгорания и сажевыделения.

4. На основе результатов теоретического анализа, физического моделирования на бомбе постоянного объема и экспериментальных исследований на двигателях, разработаны и предложены для практического применения multifunctional композиции ХАС, позволяющие улучшить энерго-экологические показатели дизелей.

5. Усовершенствована система подачи жидких и газообразных ХАС в камеру сгорания дизеля.

6. Изучен механизм действия отдельных компонентов многофункциональных ХАС по эффекту воздействия на кинетику предпламенных процессов, воспламенение, сгорание и образование NO_x и сажи и выявлены их оптимальные концентрации в топливе.

7. Предложенный способ организации рабочего процесса дизеля обеспечивает снижение выхода NO_x на 25 – 30 % и дымности ОГ в 1,5 – 2 раза без ухудшения топливной экономичности. Концентрация окиси углерода и углеводородов при этом меняется незначительно.

8. Экспериментально подтверждена возможность использования ХАС для форсирования дизелей по Pe и n при сохранении заданного уровня токсичности и дымности ОГ.

9. Экспериментально подтверждена возможность применения газообразных химически активных веществ (продуктов плазмо-химической переработки ДТ, продуктов внутрецилиндровой паро-газовой конверсии ДТ и водорода) для активации рабочего процесса дизеля.

10. Экспериментальные образцы системы прошли успешные испытания на основных заводах автопромышленности ВАЗ, КамАЗ, БелАЗ и головном НИИ отрасли НАМИ. Модернизированные варианты системы подачи водорода и продуктов плазменной конверсии ДТ в НКИ. Метод каталитического покрытия КС принят на ММЗ.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1) Фомин В.М., Савастенко А.А., Реда Н.Ф. Улучшение характеристик воспламеняемости и сгорания дизельного топлива применением ХАС // Тез. докл. на всесоюз. научн. конф. – Днепропетровск, 1990, – 11с.

2) Фомин В.М., Савастенко А.А., Реда Н.Ф. Снижение дымности и токсичности ОГ дизелей введением растворов ХАС в топливо // Тез. докл. на всесоюз. научн.-техн. конф. – Ленинград, 1990, – С.103–104.

3) Фомин В.М., Савастенко А.А., Реда Н.Ф. Результаты эксплуатационных испытаний систем снижения дымности и токсичности на дизельных автопогрузчиках. Тез. докл. на II-ом всесоюз. научн.-техн. семинаре. – Владимир, 1991, – С.43.

4) Исследование возможности промотирования процесса сгорания в дизеле продуктами плазмохимической переработки традиционного топлива. / Фомин В.М., Савастенко А.А., Реда Н.Ф., Сербин С.И. // Тез. докл. на всесоюз. научн. конф. – Николаев, 1991, С.57–59.



Рис.1 Метод организации рабочего цикла дизеля с улучшенными экономическими и экологическими показателями.

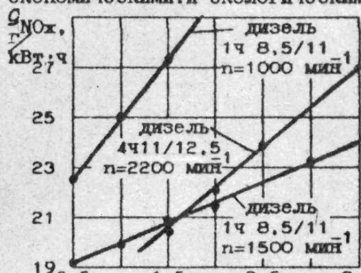


Рис.2 Изменение удельного расхода NOx от показателя $\ln n$.

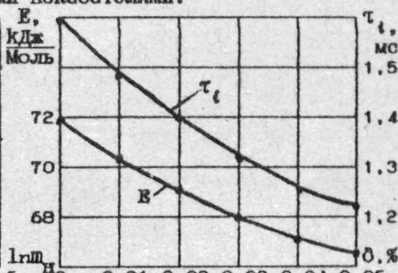


Рис.3 Влияние Mn на характеристики воспламенения (14 8.5/11).

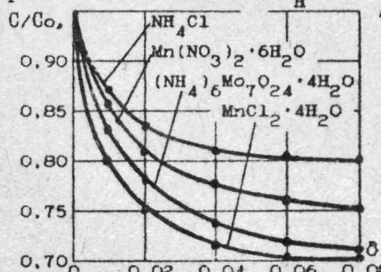


Рис.4 Влияние ХАС на концентрацию окислов азота.

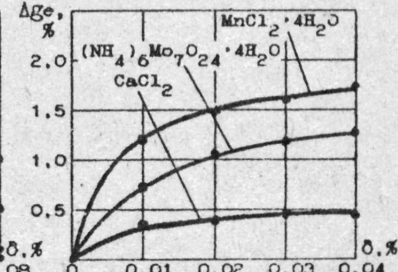


Рис.5 Влияние ХАС на снижение удельного расхода топлива.

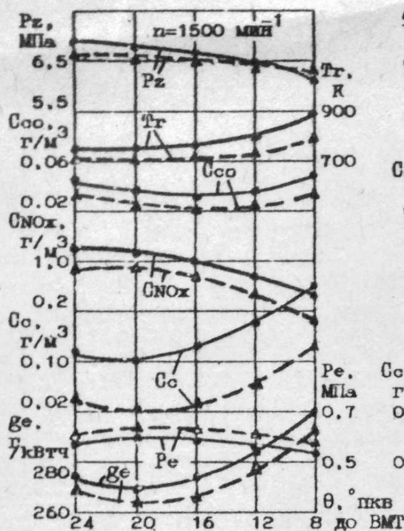


Рис.6 Влияние угла θ на характеристики дизеля 14 8,5/11.
 •-ДТ ; А-ДТ+0,02% Mn+0,01% Mo.

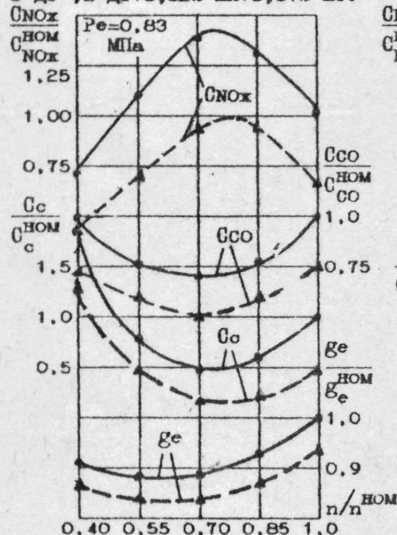


Рис.8 Влияние ХАС на характеристики дизеля 84 12/12.
 •-ДТ ; А-ДТ+0,02% Mn+0,01% Mo.
 16

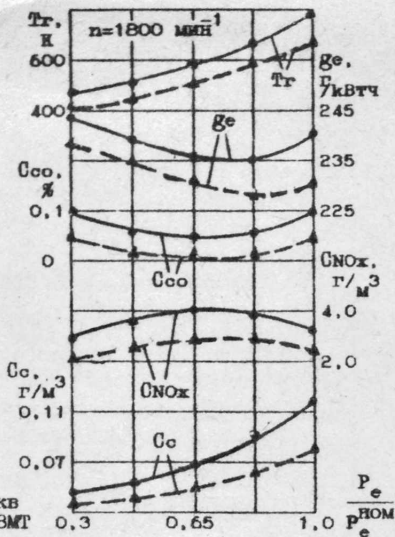


Рис.7 Влияние ХАС на характеристики дизеля 44 11/12,5.
 •-ДТ ; А-ДТ+0,02% Mn+0,01% Mo.

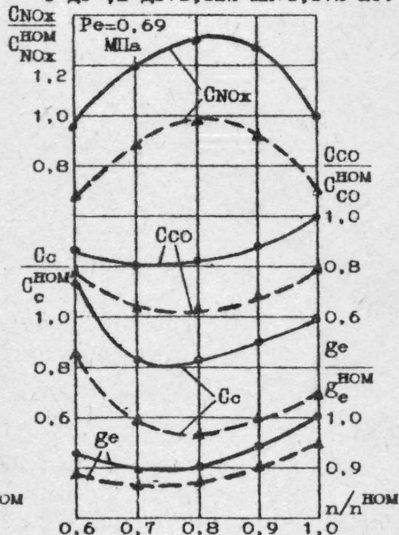


Рис.9 Влияние ХАС на характеристики дизеля 44 8,89/10,1.
 •-ДТ ; А-ДТ+0,02% Mn+0,01% Mo.

25 x 11 927. Подписано к печати. Объем I,0 п.л. Тир. 100, зак. 779

ТИПОГРАФИЯ РОССИЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ДРУЖБЫ НАРОДОВ