

На правах рукописи



Деркачев Виктор Владимирович

**СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ
С ОТРАБОТАВШИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЯ ВЫБОРОМ СПОСОБА
ПОДАЧИ АНТИДЫМНЫХ ПРИСАДОК**

05.04.02 - Тепловые двигатели

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Барнаул - 2011

Работа выполнена в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова»

Научный руководитель: Заслуженный изобретатель РФ, доктор технических наук, профессор
Новоселов Александр Леонидович

Официальные оппоненты: Доктор технических наук, профессор
Лебедев Борис Олегович

Доктор технических наук, профессор
Черепов Олег Дмитриевич

Ведущая организация: Инженерный институт Новосибирского государственного аграрного университета

Защита диссертации состоится «10» июня 2011 г. в 13 час. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.004.03 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 им. И. И. Ползунова.

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

Автореферат разослан «05» мая 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор



Свиштула А.Е.

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования обусловлена существованием экологической проблемы, связанной с вредными выбросами двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в окружающую среду. Особое место в загрязнении окружающей среды отводится дизелям как в составе транспортных средств, так и малой энергетики.

Ужесточение требований к уровням выбросов вредных веществ привело к введению в Европейском сообществе с 01.10.2008 г. стандарта ЕВРО-5, ограничивающего выбросы дизелей: по NO_x - до 2,00 г/(кВт·ч); CO - до 1,5 г/(кВт·ч); C_xH_y - до 0,25 г/(кВт·ч); по твердым частицам (ТЧ) - до 0,02 г/(кВт·ч) по 13-режимному ездовому циклу, согласно правилу ЕСЕ R49. Показатели уровня выбросов вредных веществ (ВВВ) двигателя КАМАЗ-740 превышают нормы стандарта ЕВРО-5 по NO_x - 4,43 раза; по CO - 3,28 раза; по C_xH_y - 4,95раза; по ТЧ - 15,5раз.

Объект исследования - способы подачи различных антидымных присадок (АДП) в цилиндры ДВС.

Предмет исследования - показатели экономичности, дымности и токсичности при использовании различных АДП, подаваемых в цилиндры ДВС.

Методы исследования. В работе используются теоретические методы исследования на математических моделях, экспериментальные методы исследования изменения уровней вредных выбросов дизеля при работе на топливе с АДП и подачи АДП в цилиндры двигателя различными способами с очисткой газов в каталитическом нейтрализаторе (КН) с применением современной измерительной аппаратуры.

Цель исследования - снижение выбросов дизелей за счет применения АДП в топливо с возможностью их дозирования в зависимости от режимов работы.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ способов подачи АДП и возможности осуществления дозирования их для снижения выбросов с отработавшими газами (ОГ) дизелей;

2. Осуществить математическое планирование многофакторного эксперимента для различных типов АДП и разработать эмпирические формулы на основе уравнений регрессии;

3. Разработать экспериментальную установку с реализацией способов подачи АДП в цилиндры ДВС в сочетании с КН для определения ВВВ с ОГ;

4. Провести стендовые экспериментальные исследования по 13-режимному испытательному циклу с различными планируемыми вариантами управляемого дозирования подачи АДП и регулирования их количественной подачи в зависимости от режимов работы дизеля;

5. Определить экспериментально целесообразную из условий топливной экономичности и дымности дизеля дозировку АДП в топливо;

6. Определить эффективность совместного использования АДП и КН на уровне вредных выбросов с ОГ дизелей;

7. Определить возможности достижения уровня требований ЕВРО-стандартов при одновременном использовании различных способов подачи АДП в топливо и КН ОГ.

Научная новизна исследования заключается:

- в разработке установки для сравнительной оценки эффективности применения АДП и КН ОГ;

- в получении данных о применимости отдельных вариантов подачи АДП при осуществлении их количественного регулирования, в оптимизации регулировок угла опережения начала подачи топлива (УОВ) в случае применения различных АДП;

- в получении эмпирических формул на основе уравнений регрессии, описывающих уровни ВВВ в зависимости от параметров, регулировок дизелей и количества АДП в топливе, разработке критерия относительной эффективности АДП.

Практическая значимость работы состоит в научном обобщении материалов по применению АДП в топливо, каталитической очистке газов в пористых проницаемых СВС - структурах, получении математических моделей и данных о закономерностях изменения токсичности ОГ при регулируемой подаче АДП в цилиндры двигателя, в получении экспериментальных данных, позволяющих проектирующим организациям использовать их при создании комплексов по снижению ВВВ с ОГ дизелей.

Результаты работы приняты к использованию на ОАО «15ЦАРЗ» (г. Новосибирск), Новосибирском высшем военном командном училище.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на всероссийских, республиканских, межотраслевых и отраслевых научно-технических и научно-практических семинарах и конференциях в АлтГТУ в 2005-2010 годах, Иркутской сельскохозяйственной академии, Санкт-Петербургском, Новосибирском и Алтайском государственных аграрных университетах, Новосибирском высшем военном командном училище в 2006 - 2011 годах.

Публикации. Все основные положения диссертации опубликованы в 22 печатных работах, в том числе, 2 работы в изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, содержащего 131 источник отечественной и зарубежной литературы. Основная часть работы содержит 188 страниц текста, 49 таблиц, 25 рисунков.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, его научная новизна и практическая ценность, приведены основные положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе на основании анализа литературных источников рассмотрены общие вопросы образования и состав ОГ машин, укомплектованных дизельными ДВС. Дан сравнительный анализ норм токсичности отечественных и зарубежных стандартов, средств и методов снижения выбросов токсичных компонентов ОГ, в том числе путем применения АДП и их нейтрализации. Отмечен вклад в описание и развитие математического моделирования процессов сажеобразования в ДВС и систем нейтрализации ОГ отечественных ученых: Звонова В.А., Кутенева В.Ф., Корнилова Г.С., Смайлиса В.И., Матиевского Д.Д., Свистула А.Е., Новоселова А.Л., Мельберт А.А. и других, а также зарубежных исследователей: А. Крилла, Х. Ленца, Х. Шиндербауэра и других.

Показано, что снижение выбросов загрязняющих веществ до требований ГОСТ Р 52033-2003 и норм "ЕВРО" может быть обеспечено различными путями, в том числе совершенствованием рабочего процесса с рециркуляцией ОГ, качественными регулировками систем ДВС, применением специальных присадок к топливу, нейтрализацией ОГ. Наибольшую техническую целесообразность имеет применение АДП к дизельному топливу с дозированной подачей присадки в цилиндры ДВС, в зависимости от его нагрузки, и КН ОГ.

В результате анализа сделан вывод о том, что снижение выбросов загрязняющих веществ до требуемого уровня возможно комбинированным применением АДП и КН.

Вторая глава посвящена получению эмпирических формул /на основе уравнений регрессии/ влияния АДП в топливо на уровни вредных выбросов с ОГ дизеля методом планирования эксперимента.

При планировании эксперимента, после изучения закономерностей изменения токсичности ОГ и топливной экономичности дизеля, в качестве независимых переменных были приняты величины, характеризующие изменение внешних условий, характеристик рабочего процесса, регулировок топливоподачи, состава топлива. В качестве функций отклика приняты содержание в отработавших газах твердых частиц, оксидов азота, оксида углерода, углеводородов (суммарно). При выборе факторов было принято решение об их представлении в виде критериев:

1. Критерий тепловой напряженности:

$$q_{\text{П}} = 4,13 \cdot 10^{-2} \cdot c_m^{0,5} \cdot \left(\frac{D}{\dot{r}_{\text{В}} \cdot P_{\text{К}}} \right)^{0,38} \cdot \left(P_e \cdot g_e \cdot \frac{T_{\text{К}}}{T_0} \right)^{0,88}, \quad (4)$$

где: средняя скорость поршня $c_m = (s \cdot n) / 30$, м/с; диаметр цилиндра D , м; коэффициент наполнения цилиндра η_v ; давление воздуха после компрессора $P_{\text{К}}$, МПа (для двигателей без наддува ($P_0 - \Delta P_0$), МПа); среднее эффективное давление P_e , МПа; удельный эффективный расход топлива g_e , кг/(кВт·ч); температура воздуха после компрессора $T_{\text{К}}$, К (для двигателей без наддува ($T_0 + \Delta T$), К; температура окружающей среды T_0 , К.;

2. Критерий своевременности подачи топлива:

$\Theta = \Theta_{\text{баз}} / \Theta_{\text{действ}}$ где $\Theta_{\text{действ}}$, $\Theta_{\text{баз}}$ - регулировочные УОВ (по топливному насосу) действительный и установочный на базовой комплектации;

3. Критерий относительной эффективности АДП:

$n_{mч} = f(m_n / m_m)$, где m_n - масса антидымной присадки; m_m - масса топлива.

Критерий относительной эффективности АДП разработан автором настоящей работы путем обработки экспериментальных данных.

Обработка экспериментальных данных, представленных на рис. 1, дала возможность описать функцию зависимости выбросов ТЧ от дозировки присадок на основе галогенизированного углерода (АДП-1), алкилферроцена (АДП-2) и алкилфенолята бария (АДП-3).

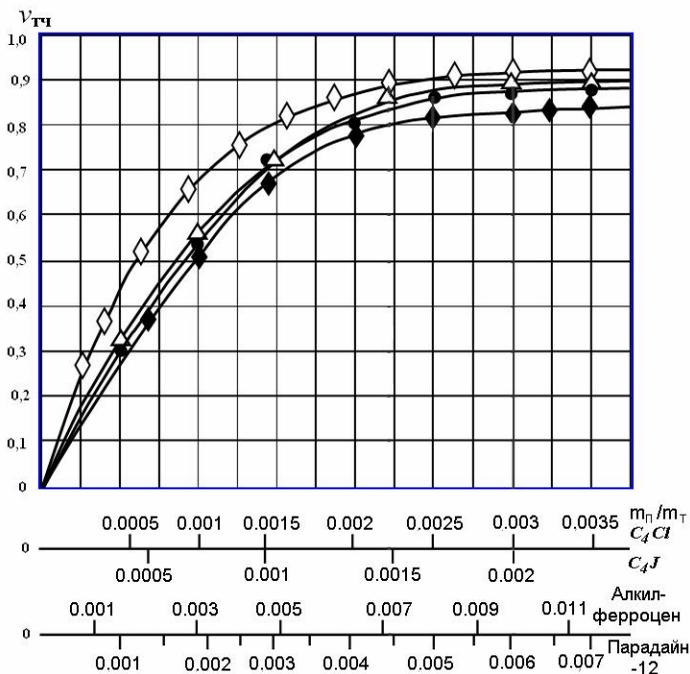


Рисунок 1 - Влияние дозирования АДП на эффективность воздействия на выбросы ТЧ с ОГ: \bullet - C_4Cl ; \blacklozenge - C_4J ; \triangle - Алкилферроцен; \diamond - Парадайн - 12

Выражения имеют вид:

$$n_{TЧ}^{АДП-1} = 18105151,88 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right)^3 - 201684,68 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right)^2 + 737,83 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right), \quad (1)$$

$$n_{TЧ}^{АДП-2} = 673416,00 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right)^3 - 21688,00 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right)^2 + 237,96 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right), \quad (2)$$

$$n_{TЧ}^{АДП-3} = 5574086,37 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right)^3 - 91211,45 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right)^2 + 491,84 \cdot \left(\frac{m_n}{m_m}\right), \quad (3)$$

При планировании эксперимента были выбраны для построения математических моделей с квадратичными эффектами ортогональные планы второго порядка Бокса-Уилсона.

В работе выполнены следующие этапы:

1. Составлена матрица ортогонального плана 2-го порядка;
2. Проверена ортогональность построенного плана;
3. Рассчитаны условия выполнения опытов;
4. Проведен эксперимент без дублирования опытов;
5. Рассчитана дисперсия воспроизводимости по опытам в центре плана;
6. Вычислены коэффициенты регрессии и их дисперсии;
7. Проверена значимость коэффициентов регрессии;
8. Проверена адекватность модели;
9. Исследована функция отклика;
10. Определены оптимальные условия (в случае адекватности модели);
11. Экспериментально проверена правильность выбора оптимальных условий;
12. Найдены технологические условия, отвечающие постановке задачи.

В результате планирования эксперимента получены уравнения регрессии, описывающие выбросы ОГ дизеля при работе на топливе:

- без присадок:

$$\hat{y}_{CO} = 6,523 - 0,247 x_1 - 0,860 x_1^2 - 0,699 x_2^2 - 0,537 x_3^2, \quad (5)$$

$$\hat{y}_{NOx} = 7,571 + 0,321 x_1 + 1,116 x_1^2 + 0,907 x_2^2 + 0,698 x_3^2, \quad (6)$$

$$\hat{y}_{C_{xHx}} = 1,284 + 0,011 x_1 + 0,039 x_1^2 + 0,032 x_2^2 + 0,024 x_3^2, \quad (7)$$

$$\hat{y}_{TЧ} = 0,432 - 0,010 x_1 - 0,036 x_1^2 - 0,029 x_2^2 - 0,023 x_3^2, \quad (8)$$

- с присадкой на основе галогенизированного углерода:

$$\hat{y}_{CO}^{АДП-1} = 5,054 - 0,192 x_1 - 0,667 x_1^2 - 0,542 x_2^2 - 0,417 x_3^2, \quad (9)$$

$$\hat{y}_{NOx}^{АДП-1} = 7,330 + 0,311 x_1 + 1,081 x_1^2 + 0,879 x_2^2 + 0,676 x_3^2, \quad (10)$$

$$\hat{y}_{C_{xHx}}^{АДП-1} = 0,562 + 0,005 x_1 + 0,017 x_1^2 + 0,014 x_2^2 + 0,011 x_3^2, \quad (11)$$

$$\hat{y}_{TЧ}^{АДП-1} = 0,196 - 0,005 x_1 - 0,017 x_1^2 - 0,013 x_2^2 - 0,010 x_3^2, \quad (12)$$

- с присадкой на основе алкилферроцена:

$$\hat{y}_{CO}^{АДП-2} = 4,631 - 0,176 x_1 - 0,611 x_1^2 - 0,496 x_2^2 - 0,382 x_3^2, \quad (13)$$

$$\hat{y}_{NOx}^{АДП-2} = 7,083 + 0,301 x_1 + 1,045 x_1^2 + 0,849 x_2^2 + 0,653 x_3^2, \quad (14)$$

$$\hat{y}_{C_{xHx}}^{АДП-2} = 0,342 + 0,003 x_1 + 0,010 x_1^2 + 0,008 x_2^2 + 0,007 x_3^2, \quad (15)$$

$$\hat{y}_{TЧ}^{АДП-2} = 0,167 - 0,004 x_1 - 0,014 x_1^2 - 0,011 x_2^2 - 0,009 x_3^2, \quad (16)$$

- с присадкой на основе алкилфенолята бария:

$$\hat{y}_{CO}^{АДП-3} = 3,956 - 0,150 x_1 - 0,522 x_1^2 - 0,424 x_2^2 - 0,326 x_3^2, \quad (17)$$

$$\hat{y}_{NOx}^{АДП-3} = 6,803 + 0,289 x_1 + 1,004 x_1^2 + 0,815 x_2^2 + 0,627 x_3^2, \quad (18)$$

$$\hat{y}_{C_{xHx}}^{АДП-3} = 0,221 + 0,002 x_1 + 0,007 x_1^2 + 0,006 x_2^2 + 0,004 x_3^2, \quad (19)$$

$$\hat{y}_{TЧ}^{АДП-3} = 0,134 - 0,003 x_1 - 0,011 x_1^2 - 0,009 x_2^2 - 0,007 x_3^2. \quad (20)$$

В результате работы по математическому планированию эксперимента были найдены методом математического моделирования оптимальные усло-

вия проведения эксперимента при работе дизеля на топливе без присадки: $q_{\text{п}} = 1,47$, $\Theta = 32,35$, $n_{\text{тч}} = 0$; получено удовлетворительное совпадение в пределах 5% расчетов на математических моделях с экспериментальными и опытными данными.

В третьей главе дано описание экспериментальной установки, системы подачи топлива и АДП, состав применяемых АДП, методик проведения испытаний, измерительной аппаратуры.

Экспериментальные исследования, выполнены с целью снятия контрольных внешних скоростных характеристик при $1000 \dots 2600 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузочных характеристик при 2600 мин^{-1} с определением параметров и анализом состава ОГ, при работе ДВС на штатном топливе и топливе с добавлением АДП, при подаче АДП вместе с топливом из топливного бака, через распылитель во впускной коллектор ДВС и через смесители перед форсунками с использованием КН.

Экспериментальные исследования проводились на моторной установке с дизелем КамАЗ-740 (8Ч12/12), оборудованной измерительной аппаратурой и приборами в соответствии с ГОСТ 14846-81, ГОСТ 17.2.2.03-87 и ГОСТ Р 52033-03.

Мощность двигателя (N_e) и расход топлива (g_e), удельные выбросы вредных частиц (g_{xxx}) определялись известными методами.

Оценка погрешностей измерений и расчетов производилась по методике, изложенной в работе, и в соответствии с ГОСТ 8.401-80, ГОСТ 16263-70, ГОСТ Р 41.24-99, ГОСТ Р 41.49-99, ГОСТ Р 41.83-99 и составила: при определении эффективной мощности дизеля $\pm 0,6\%$; при определении расхода топлива $\pm 0,4\%$; при определении удельного расхода топлива $\pm 1,0\%$; при определении температуры $\pm 1,8\%$.

Стендовые испытания дизеля 8Ч12/12 проводились по 13-режимному испытательному циклу для определения характеристик вредных выбросов с ОГ.

В целях получения исходных данных об уровнях вредных выбросов дизеля 8Ч12/12 были проведены предварительные исследования, результаты которых сведены в таблицу 1. Здесь показаны уровень оценочных выбросов и кратность превышения норм ЕВРО - стандартов.

Таблица 1 - Данные об уровнях вредных выбросов дизеля КамАЗ-740 с ОГ

Оценочные показатели вредных выбросов	Величины оценочных показателей, г/(кВт·ч)				Кратность превышения норм стандартов ЕВРО-3/4/5
	Допустимые стандартами			Выбросы дизеля КамАЗ-740 с обработ. газами	
	ЕВРО-3	ЕВРО-4	ЕВРО-5		
$q_{\text{ог}} \text{ NO}_x$	5,00	3,50	2,00	8,86	1,77/2,53/4,43
$q_{\text{ог}} \text{ CO}$	2,10	1,50	1,50	4,93	2,35/3,28/3,28
$q_{\text{ог}} \text{ CH}$	0,60	0,46	0,25	1,23	2,05/2,67/4,95
$q_{\text{ог}} \text{ TC}$	0,10	0,02	0,02	0,31	3,1/15,5/15,5

В четвёртой главе изложены и обобщены результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности использования АДП, подаваемых в цилиндры ДВС вместе с топливом из топливного бака, через распылитель во впускной коллектор ДВС, через смесители перед форсунками и с применением КН.

На дизеле проведено исследование влияния подачи АДП с дизельным топливом из бака, через ТНВД и штатные форсунки на уровни вредных выбросов с ОГ, данные приведены в таблице 2. Эффективное воздействие на состав отработавших газов наблюдается при дозировании: АДП-1 до 2 тыс⁻¹; АДП-2 до 9,7 тыс⁻¹; АДП-3 до 4,4 тыс⁻¹ по массе топлива и повышение концентрации нецелесообразно. При подачи АДП-3 с топливом выполняются требования норм ЕВРО 3/4/5 по ТЧ.

Таблица 2 - Влияние дозирования АДП в топливо дизеля через штатную систему на качество очистки ОГ дизеля 8Ч12/12 (Θ = 32 град п.к.в. до ВМТ)

Оценочные показатели вредных выбросов	Величины оценочных показателей, г/(кВт·ч)				Кратность превышения норм ЕВРО-3/4/5
	Без КН и без подачи АДП	Дозировка присадки в топливо			
		АДП-1			При дозировке 2 тыс ⁻¹
		1 тыс ⁻¹	2 тыс ⁻¹	3 тыс ⁻¹	
q _{оц} NOx	8,86	8,56	8,32	8,30	1,66/2,38/4,16
q _{оц} CO	4,93	4,23	3,30	3,27	1,57/2,20/2,20
q _{оц} CH	1,23	0,84	0,77	0,73	1,28/1,67/3,08
q _{оц} ТЧ	0,31	0,17	0,077	0,075	0,77/3,85/3,85
		АДП-2			При дозировке 9,7 тыс ⁻¹
		5,0тыс ⁻¹	9,7тыс ⁻¹	11,0тыс ⁻¹	
q _{оц} NOx	8,86	8,43	8,36	8,30	1,67/ 2,39/ 4,17
q _{оц} CO	4,93	4,10	3,59	3,21	1,71/ 2,39/ 2,39
q _{оц} CH	1,23	0,69	0,66	0,63	1,10/ 1,43/ 2,64
q _{оц} ТЧ	0,31	0,06	0,043	0,042	0,43/ 2,15/ 2,15
		АДП-3			При дозировке 4,4 тыс ⁻¹
		3тыс ⁻¹	4,4тыс ⁻¹	6 тыс ⁻¹	
q _{оц} NOx	8,86	6,74	6,67	6,64	1,33/ 1,91/ 3,33
q _{оц} CO	4,93	3,61	3,16	2,91	1,50/ 2,11/ 2,11
q _{оц} CH	1,23	0,59	0,57	0,54	0,95/ 1,24/ 2,28
q _{оц} ТЧ	0,31	0,016	0,015	0,015	0,15/ 0,75/ 0,75

На дизеле проведено исследование влияния АДП, подаваемой с воздухом во впускной коллектор ДВС, на уровни вредных выбросов с ОГ (таблица 3).

Как видно из данных таблицы 3, достижение показателей норм выбросов для данного типа дизелей по ЕВРО-3/4/5 в случае подачи АДП-1 АДП-2 с топливом через систему впуска не достигается, хотя частично решается задача снижения выбросов твердых частиц. Выполняются нормы ЕВРО по ТЧ для АДП-3.

Таблица 3 – Влияние подачи АДП через систему впуска с воздухом на качество очистки отработавших газов дизеля 8Ч12/12

Оценочные показатели вредных выбросов	Величины оценочных показателей, г/(кВт·ч)			Кратность превышения норм ЕВРО-3/4/5
	Без КН и без подачи АДП	АДП через форсунку	АДП с воздухом на впуске	
АДП-1, 2 тыс ⁻¹ по массе				
q _{оц} NO _x	8,86	8,32	8,39	1,68/ 2,40 / 4,20
q _{оц} CO	4,93	3,30	3,50	1,67/ 2,33/ 2,33
q _{оц} CH	1,23	0,77	0,82	1,36/ 1,78/ 3,27
q _{оц} ТЧ	0,31	0,077	0,083	0,83/ 4,15/ 4,15
АДП-2, 9,7 тыс ⁻¹ по массе				
q _{оц} NO _x	8,86	8,36	8,42	1,56/ 2,23/ 3,90
q _{оц} CO	4,93	3,59	3,67	1,75/ 2,44/ 2,44
q _{оц} CH	1,23	0,66	0,77	1,28/ 1,67/ 3,08
q _{оц} ТЧ	0,31	0,043	0,051	0,51/ 2,55/ 2,55
АДП-3, 4,4 тыс ⁻¹ по массе				
q _{оц} NO _x	8,86	6,67	6,75	1,35/ 1,93/ 3,38
q _{оц} CO	4,93	3,16	3,29	1,57/ 2,19/ 2,19
q _{оц} CH	1,23	0,57	0,64	1,06/ 1,39/ 2,56
q _{оц} ТЧ	0,31	0,015	0,019	0,19/ 0,95/ 0,95

При подаче присадки через систему впуска происходит увеличение выбросов с ОГ по сравнению с подачей АДП через штатную форсунку вместе с топливом из топливного бака по удельному нормообъему на 2-8%.

На дизеле проведено исследование влияния подачи АДП с топливом через смеситель перед форсункой на уровни вредных выбросов с ОГ и применением КН, оценочные показатели приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Влияние подачи АДП с топливом через смеситель перед форсункой на качество очистки ОГ дизеля 8Ч12/12

Оценочные показатели вредных выбросов	Величины оценочных показателей, г/(кВт·ч)				Кратность превышения норм ЕВРО-3/4/5
	Без КН и без подачи АДП	АДП через ТНВД	АДП через смеситель	С КН и подачей АДП через смеситель	
1	2	3	4	5	6
Антидымная присадка АДП-1; 2 тыс ⁻¹ по массе					
q _{оц} NO _x	8,86	8,32	8,39	3,52	0,70/1,00/1,76
q _{оц} CO	4,93	3,30	3,42	1,43	0,68/0,95/0,95
q _{оц} CH	1,23	0,77	0,79	0,36	0,6/0,78/1,43
q _{оц} ТЧ	0,31	0,077	0,079	0,035	0,35/1,75/1,75
Антидымная присадка АДП-2; 9,7 тыс ⁻¹ по массе					
q _{оц} NO _x	8,86	8,36	8,39	2,92	0,58/0,83/1,46
q _{оц} CO	4,93	3,59	3,62	1,01	0,48/0,67/0,67
q _{оц} CH	1,23	0,66	0,71	0,18	0,30/0,39/0,72
q _{оц} ТЧ	0,31	0,043	0,048	0,016	0,16/0,8/0,8

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
Антидымная присадка АДП-3; 4,4 тыс ⁻¹ по массе					
q _{оц} NO _x	8,86	6,67	6,70	2,64	0,53/0,75/1,32
q _{оц} CO	4,93	3,16	3,19	0,61	0,29/0,41/0,41
q _{оц} CH	1,23	0,57	0,61	0,21	0,35/0,46/0,84
q _{оц} ТЧ	0,31	0,015	0,017	0,015	0,15/0,75/0,75

Из данных таблицы видно, что метод осуществления подачи АДП в топливо через смеситель является конкурирующим по отношению к методу подачи АДП сразу из бака, при его применении происходит незначительное увеличение значения удельного нормообъема (на 1,5%).

Данный метод представляет возможность регулировать количество подаваемой АДП в зависимости от режимов эксплуатации дизеля. Применение КН или АДП раздельно, не обеспечивает выполнение норм ЕВРО, и только при одновременном использовании АДП и КН выполняются нормы ЕВРО-4 АДП-2 и АДП-3 по выбросам вредных веществ, а нормы выбросов ЕВРО-5 АДП-2 и АДП-3 по СО, ТЧ и С_xН_y.

На дизеле проведено исследование влияния изменения угла УОВ на уровни вредных выбросов с ОГ (таблица 5).

Таблица 5 – Влияние КН, регулировки угла опережения начала подачи топлива и добавления АДП на качество очистки ОГ дизеля 8Ч12/12

Оценочные показатели вредных выбросов	Величины оценочных показателей, г/(кВт·ч)				Кратность превышения норм ЕВРО-3/4/5
	Без КН и АДП	1 с КН	2 с КН, отим. Θ по g _e	3 с КН, АДП, оптим. Θ по g _e	
Θ=34° п.к.в. до ВМТ. АДП-1, 2 тыс ⁻¹ по массе топлива					
q _{iw} NO _x	8,86	4,52	3,18	2,90	0,58/0,82/1,45
q _{iw} CO	4,93	1,38	1,32	1,20	0,57/0,80/0,80
q _{iw} CH	1,23	0,37	0,28	0,23	0,38/0,50/0,92
q _{оц} ТЧ	0,31	0,20	0,11	0,018	0,18/0,90/0,90
Θ=32° п.к.в. до ВМТ. АДП-2, 9,7 тыс ⁻¹ по массе топлива					
q _{оц} NO _x	8,86	4,52	3,18	2,73	0,55/0,78/1,37
q _{оц} CO	4,93	1,38	1,32	0,59	0,28/0,39/0,39
q _{оц} CH	1,23	0,37	0,28	0,17	0,28/0,37/0,68
q _{оц} ТЧ	0,31	0,20	0,11	0,011	0,11/0,55/0,55
Θ=28° п.к.в. до ВМТ. АДП-3, 4,4 тыс ⁻¹ по массе топлива					
q _{оц} NO _x	8,86	4,52	3,18	2,54	0,51/0,73/1,27
q _{оц} CO	4,93	1,38	1,32	0,99	0,47/0,66/0,66
q _{оц} CH	1,23	0,37	0,28	0,15	0,25/0,33/0,61
q _{оц} ТЧ	0,31	0,20	0,11	0,010	0,10/0,50/0,50

Установлено, что при добавлении в топливо АДП-1 2 тыс⁻¹ из условия топливной экономичности и выбросов ТЧ, СО и С_xН_y следует устанавливать УОВ 34 град. п.к.в. до ВМТ, при добавлении АДП-2 9,7 тыс⁻¹ по массе - 32 град. п.к.в. до ВМТ, при добавлении АДП-3 4,4 тыс⁻¹ по массе - 28 град. п.к.в.

до ВМТ. Последовательная цепь воздействия на состав ОГ показывает, что при использовании варианта 3 достигается выполнение требований ЕВРО-5 (кроме NO_x).

В таблице 6 приведены данные о результатах отключения подачи присадок при работе на отдельных режимах работы дизеля.

Таблица 6 - Результаты регулирования и отключения подачи АДП на отдельных режимах работы дизеля

Виды регулировок	Экономия АДП, %	
	АДП-2	АДП-2
Отключение при нагрузках менее 25%	23	23
Отключение при нагрузках менее 50%	47	47
Регулирование подачи от нагрузки 60% вплоть до отключения при 25%	55	55

На основании исследований получены значения расхода топлива при добавлении в топливо АДП, в том числе, при различных противодавлениях на выпуске, имитирующих установку КН (рис. 2) Добавление всех испытанных АДП приводит к снижению расхода топлива (кривые 2, 3, 4).

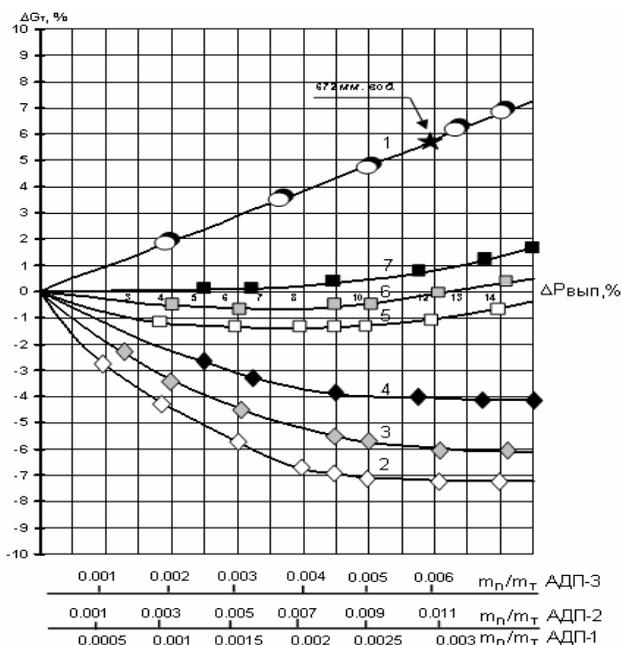


Рисунок 2 - Влияние подачи АДП в топливо через штатную систему питания и установки КН на топливную экономичность дизеля: 1 - увеличение расхода топлива от создаваемого противодавления; 2, 3, 4, - снижение расхода топлива при добавлении АДП-3, АДП-2 и АДП-1 соответственно; 5, 6, 7 - суммарное изменение расхода топлива при установке КН и добавлением АДП-3, АДП-2 и АДП-1 соответственно

При использовании АДП-1 при оптимальной дозировке и КН расход топлива незначительно увеличивается; АДП-2, АДП-3 и КН - расход топлива ниже, чем при работе без АДП.

Расчеты по данным сравнительных испытаний (рис. 3) показали, что расход топлива с присадкой АДП-3 при подаче всеми способами наиболее низок. На рисунке показана стоимости топлива с АДП в ценах 2010 года.

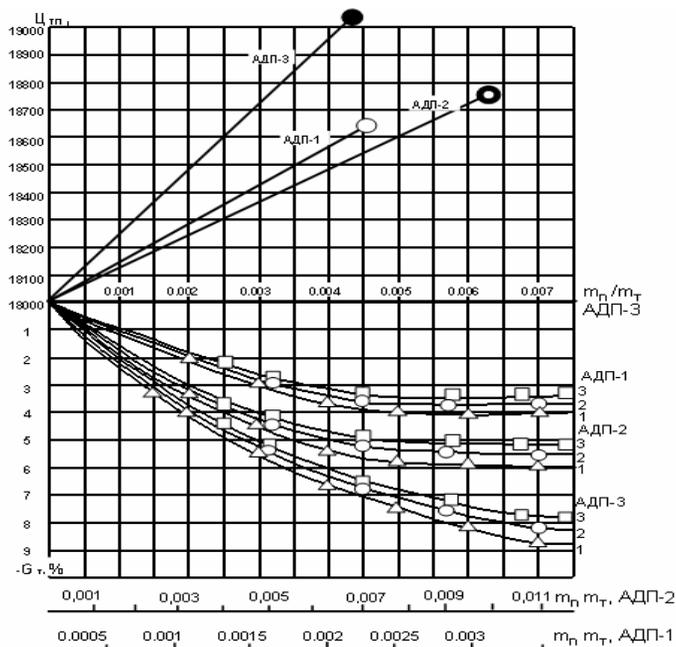


Рисунок 3 - Влияние подачи АДП на изменение расхода топлива при $P_e/P_{en}=100\%$:
 1 - через штатную систему питания; 2 - через смеситель перед форсункой; 3 - через впускной клапан

Основные выводы и рекомендации

Проведенная в соответствии с целью и задачами научная работа, в основу которой положены теоретические исследования на модели, экспериментальные исследования снижения дымности и токсичности автомобильного двигателя при подаче АДП различными способами, позволяет сделать ряд основных выводов:

1. Обоснована актуальность добавления АДП в топливо и управляемая подача её в цилиндры ДВС в целях снижения ВВВ с ОГ и экономии топлива;
2. Выполнено математическое планирование многофакторного эксперимента, получены эмпирические формулы на основе уравнений регрессии, связывающие уровни вредных выбросов с тепловой напряженностью дизеля,

регулировками УОВ и дозировкой АДП в топливо, разработан критерий относительной эффективности АДП.;

3. Создана экспериментальная установка, позволяющая осуществить подачу топлива с АДП через штатную систему питания ДВС, через систему впуска и путем подачи через смеситель перед штатной форсункой. Установка дает возможность провести оценку ВВВ с ОГ по 13-режимному циклу, предусмотренному ЕЭК ООН;

4. Определена целесообразная из условий топливной экономичности и дымности дизеля дозировка АДП в топливо: АДП-1 2 тыс⁻¹ по массе топлива; АДП-2 9,7 тыс⁻¹; АДП-3 4,4 тыс⁻¹.

5. Установлено, что для АДП-1, исходя из топливной экономичности и уровней выбросов ТЧ УОВ необходимо увеличивать до 34 град. п.к.в. до ВМТ, а для АДП-3 сокращать до 28 град. п.к.в. до ВМТ;

6. Выявлено, что наиболее эффективной АДП является АДП-3, применение которой с КН позволяет снизить суммарную токсичность ОГ на 70,1 % и выполнить требований ЕВРО-5 по СО, ТЧ и С_xН_y.;

7. Установлено, что осуществление подачи АДП-3 через систему впуска приводит к снижению суммарной токсичности ОГ на 20%;

8. Определено, что совместное применение регулировок АДП-3, УОВ и КН ОГ приводит к снижению суммарной токсичности на 72,3%, уровней выбросов всех продуктов неполного сгорания до норм ЕВРО-5, а оксидов азота - в 3,36 раза;

9. Выявлено, что осуществление подачи АДП-3 через смеситель перед форсункой и КН ОГ снижает суммарную токсичность на 66%;

10. Установлено, что отключение подачи АДП-2 и АДП-3 при нагрузках ниже 25% приводит к экономии присадок на 23% и 27% соответственно, при нагрузках ниже 50% - на 47% и 45%, при плавном регулировании и снижении подачи от нагрузки 60% до отключения при 25% - к экономии присадок на 55% и 57% соответственно.

Основные положения работы отражены в следующих публикациях:

а) в издании рекомендованном ВАК:

1. Интегральный эколого-экономический показатель социальной эффективности транспортного движения. / Л.Н. Беляев, **В.В. Деркачев**, А.А. Мельберг, А.Н. Салмин // Ползуновский вестник № 1-2. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2009. - С.81-88.

2. Выбор критериев при математическом планировании эксперимента по добавлению антидымных присадок в дизельное топливо. / **В.В. Деркачев** // Ползуновский вестник № 1. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - С.72-75.

б) в других изданиях:

1. Пилотная установка для изучения эффективности катализаторов в составе СВС-блоков нейтрализатора. / Н.В. Батурич, Н.Н. Грабовская, **В.В. Деркачев**, А.Л. Новоселов, М.Л. Тихомиров, Д.Н.Титов // Повышение экологической

безопасности автотракторной техники : Сб. ст./ Под ред. Д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская Академия транспорта, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С.28-31.

2. Пути снижения антропогенного воздействия отработавших газов дизелей. / **В.В. Деркачев**, Ю.В. Павлова, М.Л. Тихомиров. Л.С. Юдина // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст./ Под ред. Д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская Академия транспорта, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С.47-57.

3. Твердые частицы в составе отработавших газов дизелей. / Н.Н.Грабовская, **В.В. Деркачев**, А.А. Мельберт, Н.Д. Новоселов, А.А Унгефук // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст./ Под ред. Д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская Академия транспорта, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С.112-118.

4. Влияние антидымной присадки на основе хлорированного углерода, подаваемой с воздухом на впуске, на уровни вредных выбросов дизеля 8Ч12/12. / **В.В. Деркачев**, Ю.В. Павлова, А.А. Унгефук // Проблемы совершенствования энергетических установок Сб. ст./ Под ред. Дтн, профессора А.А. Мельберт / Российский союз научных и инженерных организаций, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 55-61.

5. Результаты экспериментального исследования влияния подачи антидымной присадки в цилиндры регулируемой системой со смесителем перед форсункой на уровни вредных выбросов дизеля 8Ч12/12. / Н.Н. Грабовская, **В.В. Деркачев**, С.Н. Павлов // Проблемы совершенствования энергетических установок Сб. ст./ Под ред. Дтн, профессора А.А. Мельберт/ Российский союз научных и инженерных организаций, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. - С. 61-68.

6. Влияние нагрузочного и скоростного режимов на уровни вредных выбросов дизеля 8Ч12/12. / Б.Ф. Бекбаев, **В.В. Деркачев**, Г.В. Медведев, С.Н. Павлов // Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями. Сб. ст./ Под ред. Дтн, профессора А.А. Мельберт/ Российский союз научных и инженерных организаций, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008.- С. 45-51.

7. Влияние экспериментального исследования 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. / **В.В. Деркачев**, Т.А. Стопарева, Г.В. Медведев // Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями. Сб. ст./ Под ред. Дтн, профессора А.А. Мельберт/ Российский союз научных и инженерных организаций, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008.- С. 59-67.

8. Влияние дозирования антидымной присадки на основе хлорированного углерода в топливо на уровни вредных выбросов дизеля 8Ч12/12. / **В.В. Деркачев**, А.Л. Новоселов, Т.А. Стопарева // Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями. Сб. ст./ Под ред. Дтн, профессора А.А. Мельберт/ Российский союз научных и инженерных организаций, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008.- С. 51-59.

9. Сравнительная оценка фильтров твердых частиц. / **В.В.Деркачев**, А.С. Скрипка // Сборник научных трудов Новосибирского ВВКУ- 2009 - № 18 С. 409-414.

10. Планирование эксперимента по определению закономерности вредных выбросов дизеля / **В.В. Деркачев**, Д.С. Печенникова // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. Часть 1. / Под ред. Д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская Академия транспорта, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - С.6-17.

11. Влияние антидымных присадки к топливу, подаваемых с воздухом на выпуск, на уровни вредных выбросов. / **В.В. Деркачев** // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. Часть 1. / Под ред. Д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская Академия транспорта, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - С.32-38.

12. Влияние каталитической очистки отработавших газов и добавления в топливо антидымных присадок, подаваемых в цилиндр через форсунку с топливом, на уровни вредных выбросов дизеля 4С12/12 / А.А. Мельберт, **В.В. Деркачев**, Д.С. Печенникова // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. Часть 1. / Под ред. Д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская Академия транспорта, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - С. 53-61.

13. Влияние регулировок угла опережения начала подачи топлива с антидымными присадками каталитической очисткой на состав отработавших газов дизеля 8С12/12 / **В.В. Деркачев** // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. ст. Часть 1. / Под ред. Д.т.н., профессора, академика РАТ А.Л. Новоселова / Российская Академия транспорта, АлтГТУ им. И.И.Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. - С. 61-67.