На правах рукописи

Фролкин Антон Сергеевич

СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ СОХРАНЕНИИ МОЩНОСТНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

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 (АлтГТУ)»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Свистула Андрей Евгениевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Юр Геннадий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент
Русаков Вадим Юрьевич

Ведущая организация: ОАО ХК «Барнаултрансмаш»

Защита состоится «10» июня 2011 г. в 11-00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.004.03, действующего при Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова, по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46 (тел/факс (3852) 260-516;
E-mail: D21200403@mail.ru).

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

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

Автореферат разослан «____» _____ 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета А. Е. Свистула

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность темы. В мире существует жесткая конкурентная борьба между дизелестроительными предприятиями. Успех на рынке имеет продукция, в наибольшей степени отвечающая требованиям потребителя. Поэтому актуальным представляется направление комплексного снижения вредных выбросов отработавших газов с сохранением высокого уровня мощностно-экономических показателей дизеля, при этом технические решения должны быть как можно более просты и недорогостоящи. Большой плюс, если дизель может работать на альтернативном топливе, в условиях Алтайского края - это рапсовое масло.

Цель работы заключается в разработке комплексной методики доводки экологических показателей тракторного дизеля, обеспечивающей снижение вредных выбросов с сохранением высокого уровня топливной экономичности (на примере перспективного дизеля серии «30» производства ОАО «ПО Алтайский моторный завод» (ПО АМЗ).

Достижение поставленной цели осуществляется решением следующих задач:

1. Выполнить анализ работ по исследованию механизма образования токсичных компонентов. Выполнить анализ возможностей компьютерной оптимизации рабочего процесса и современных способов снижения вредных выбросов.

2. Разработать комплексную методику снижения вредных выбросов с сохранением высокого уровня топливной экономичности, позволяющую исключить использование дорогостоящих комплектующих и технологий.

3. Провести экспериментальную проверку разработанной комплексной методики совершенствования экологических показателей.

Научная новизна. Разработана комплексная методика совершенствования рабочего процесса дизеля, включающая два этапа: на первом этапе решается задача снижения выбросов продуктов неполного сгорания с отработавшими газами (ОГ), на втором этапе - снижения эмиссии окислов азота (NO_x). Модернизированы: методика доводки впускных и выпускных каналов 4-клапанной головки цилиндра дизеля; метод и алгоритм подбора турбокомпрессора (ТКР); методика подбора топливной аппаратуры, определяющая рациональное давление впрыска и эффективное проходное сечение распыливающих отверстий распылителя в зависимости от угла опережения впрыска и давления наддува.

Методы исследования. В работе нашли применение как теоретические, так и экспериментальные методы исследования, хорошо известные и апробированные на практике, и специально разработанные для решения поставленных задач. Достоверность результатов достигнута выбором современных методов и средств измерений, соблюдением требований стандартов, периодической поверкой и тарировкой приборов, анализом и контролем погрешностей, а для теоретических исследований – принятием обоснованных исход-

ных данных и закономерностей, сопоставлением результатов расчета и эксперимента, согласованием частных полученных результатов с известными.

Объект исследований: рабочий процесс дизеля и процессы образования токсичных компонентов.

Предмет исследований: влияние характеристики впрыска, параметров турбонаддува, камеры сгорания, впускных и выпускных каналов, фаз газораспределения и угла опережения впрыска топлива на снижение выбросов вредных веществ.

Практическая ценность. Разработан комплекс доводочно-конструкторских мероприятий, позволяющий дизелям Д-3040 производства ОАО «ПО АМЗ» соответствовать требованиям ГОСТ Р 41.96-2005 по выбросам вредных веществ. Методики подбора топливной аппаратуры, турбокомпрессора, методика доводки газодинамических параметров впускных и выпускных каналов головки цилиндра и комплексная методика совершенствования экологических показателей позволили в короткие сроки создать конструкцию и выполнить доводку экологических параметров на базе имеющегося серийного дизеля.

Апробация работы. Результаты работы были представлены на 60-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ, 2002, 61-й научно-технической конференции «Наука производству», АлтГТУ, 2003, международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей», Владимир, 2008; международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития и эксплуатации поршневых двигателей в транспортном комплексе Азиатско-Тихоокеанского региона», Хабаровск, 2008; международном Конгрессе двигателестроителей, Украина, 2008; второй Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики», Барнаул, 2008; международной научной конференции «Многоцелевые гусеничные и колесные машины: Актуальные проблемы и пути их решения», Челябинск, 2008; научно-технической конференции «Повышение эффективности силовых установок колесных и гусеничных машин», Челябинск, 2008; на 67-69-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава АлтГТУ, 2009-2011 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе две работы – в изданиях, рекомендованных ВАК, одна – в зарубежном издании.

Диссертационная работа имеет объем 141 страницу машинописного текста, 41 рисунок и 7 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы основные положения диссертационной работы, вынесенные на защиту и их научная новизна.

В первой главе дан анализ состава продуктов сгорания и природы образования вредных веществ. Отмечено, что в литературе недостаточно внимания уделяется рассмотрению рабочего процесса с точки зрения снижения вредных выбросов дизелями сельхозназначения с традиционными системами топливоподачи и воздухоснабжения. Для этих систем преобладают вопросы повышения эффективности энергопреобразования, улучшения экономичности дизеля. Вместе с этим, зарубежные и отечественные нормативные документы ужесточают требования на выбросы вредных веществ, без выполнения которых невозможно выйти на рынок дизелестроения. На первый план встает проблема совмещения экологических и экономических требований.

Компьютерная оптимизация рабочего процесса могла бы позволить ускорить и удешевить трудоемкий процесс доводки дизелей. Однако утверждать, что эта задача решена, пока преждевременно. Достоверность результатов расчета пока не достаточная для практических нужд.

Для решения этих задач зарубежные компании предлагают сложную и зачастую излишне дорогую аппаратуру: индивидуальные насосные секции, насос–форсунки, аккумуляторные топливные системы, рециркуляцию ОГ, использование заслонок во впускных каналах и др. Во многом применение этих систем сдерживается отсутствием отечественных предприятий, которые могли бы выпускать указанную высокотехнологичную продукцию.

Еще одной проблемой является ресурсоемкость многочисленного парка ДВС. Во всем мире идут интенсивные исследования по поиску альтернативных источников энергии. В климатических условиях Алтайского края это могло бы быть рапсовое масло. Данные литературы говорят о том, что использование его как топлива имеет неплохие перспективы по снижению выбросов вредных веществ.

Изучению и решению названных вопросов посвящены работы: А.С. Хачияна, В.Р. Гальговского, Н.Н. Иванченко, Н.Н. Патрахальцева, З.Р. Кавтарадзе, Л.В. Грехова, В.А. Маркова, И.П. Васильева, Б.Н. Файнлейба, А.Р. Кульчитского и др. Анализ индикаторного КПД рассматривался в работах: И.Х. Дьяченко, С.А. Батурина, Д.Д. Матиевского.

В результате выполненного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлена разработанная **комплексная методика** совершенствования экологических показателей (рисунок 1), состоящая из двух этапов: **на первом этапе** решается задача снижения выброса продуктов неполного сгорания, **на втором** – снижение эмиссии окислов азота при сохранении высокой топливной экономичности дизеля.

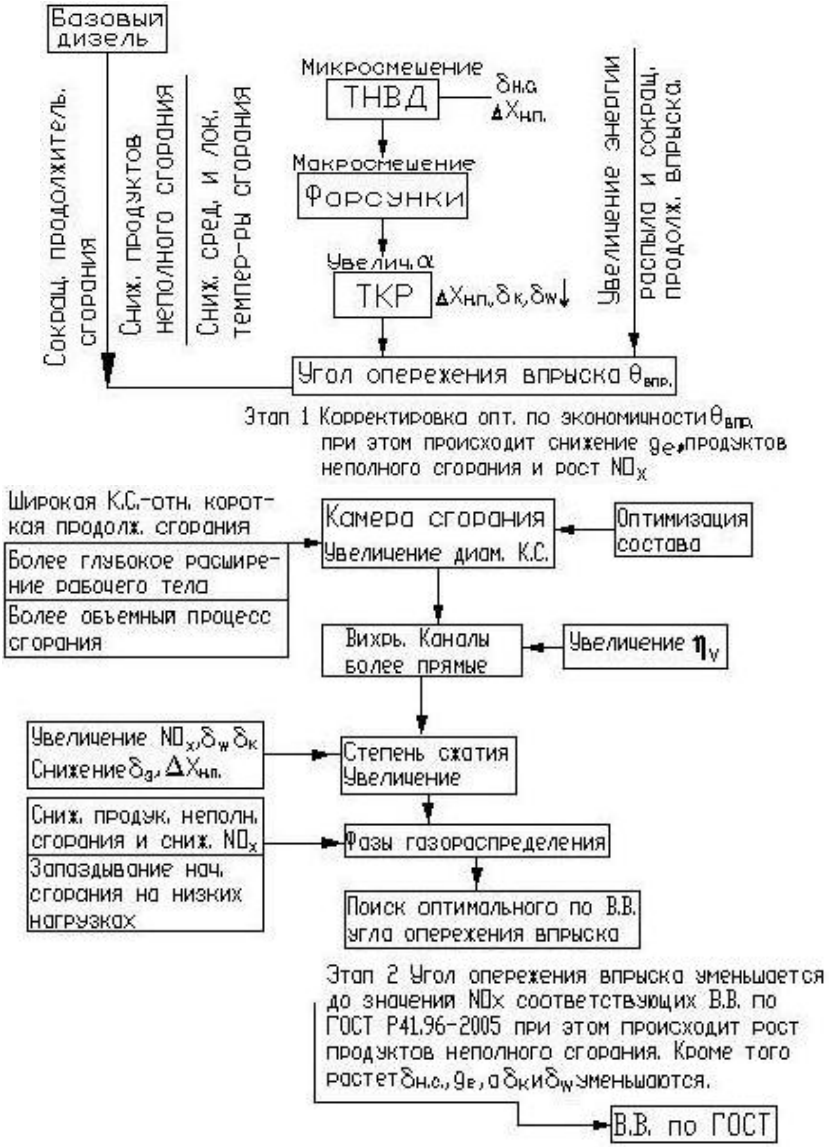

Рисунок 1 - Комплексная методика совершенствования экологических показателей

При разработке методики использован дифференциальный метод анализа индикаторного КПД η_i, известный по работам Матиевского Д.Д., в основе которого лежит уравнение, представляющее собой разность относительного

количества располагаемой теплоты, введенной в цикл, и долей потерянной и неиспользуемой теплоты в цикле, которые зависят от протекающих при сгорании процессов и обнаруживают связь с элементами конструкции дизеля.

В комплексной методике для согласования параметров топливной аппаратуры и формы камеры сгорания использована модернизированная методика Б.Н. Файнлейба. На рисунке 2 в графическом виде представлен расчет требуемых степеней изменения давления впрыска в зависимости от изменения диаметра сопловых отверстий. Для сохранения за период индукции условия достижения вершинами факелов стенок камеры сгорания необходимо в 1,1 раза увеличить диаметр сопловых отверстий и в 1,35 - давление впрыска.

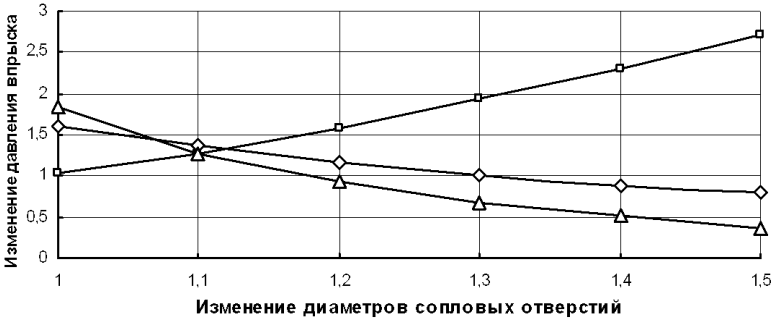

Рисунок 2 - Изменение давления впрыска в зависимости от диаметра сопловых отверстий при сохранении диаметра капли -□- – $d_k = d_k^н$; дальнобойности факела -◊- - $L_ф = L_ф^н$; продолжительности впрыска -Δ- - $\tau_в = \tau_в^н$

Расчет каналов головки цилиндра основан на следующих положениях:

- каналы базового дизеля имеют достаточно низкое гидравлическое сопротивление. В расчете будут использованы статистические данные продувок каналов базового дизеля;
- коэффициенты расхода впускного ($\mu_{вп}$) и выпускного ($\mu_{вып}$) каналов дизеля Д-3040 должны быть не меньше, чем у базового дизеля.

При расчете расхода воздуха при различных подъемах клапанов использовалась зависимость, которая применялась при доводке каналов базового дизеля.

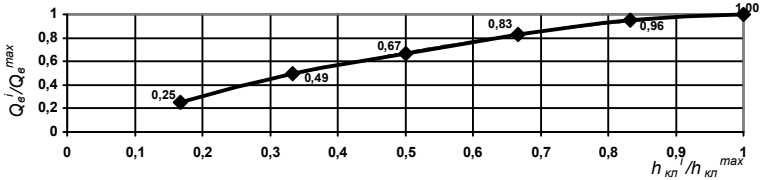

Рисунок 3 - Зависимость относительного расхода воздуха от относительного подъема клапана (аппроксимация $y=-0{,}746x^2+1{,}78x-0{,}0225$)

Пользуясь зависимостью на рисунке 3, для опытного дизеля получим

массив данных “подъем клапана – расход воздуха”, которые можно использовать при статической продувке впускных и выпускных каналов.

Для определения максимального гидравлического сопротивления каналов использована формула определения коэффициента расхода μ :

$$\mu = \frac{Q_B^{\max}}{C_1 * f_{кл} * \sqrt{2 * \rho_в * \Delta P}} \quad , \qquad (1)$$

где $Q_B^{\max}$ – расход воздуха при продувке с полным подъемом клапанов, кг/ч;

$f_{кл}$ – теоретическое сечение клапанной щели, см^2;

ΔP – сопротивление канала (потери напора), МПа; $\rho_в$= 1,205 кг/м^3.

В качестве критерия интенсивности вихреобразования использовалась угловая скорость вращательного движения воздушного заряда ($\omega_{ср}$). Момент количества вихревого движения воздушного заряда (M), создаваемый впускным каналом, определяется с учетом того, что угловая скорость вращательного движения заряда в цилиндре опытного дизеля будет на 25% меньше, чем у базового дизеля. Значение (M) определяется с помощью спрямляющей решетки, охватывающей весь диаметр цилиндра.

Угловая скорость вращения заряда в цилиндре определялась по формуле:

$$\omega = \frac{4 * M}{D^2 * Q_B} \quad , c^{-1} \quad , \qquad (2)$$

где M – момент количества движения , Н·м; D – диаметр цилиндра, м; Q_B – расход воздуха , кг/с

Согласно комплексной методике обеспечения экологических норм (рисунок 1), одной из составляющих увеличения подачи воздуха по всей характеристике испытательного цикла, является подбор турбокомпрессора (ТКР). Предлагается подбирать высоконапорный ТКР, позволяющий охватить точки как номинального режима, так и для режима максимального крутящего момента, так как на этих 2-х точках 8-ми режимного испытательного цикла наблюдаются максимальные выбросы вредных веществ. Характеристики ТКР и характеристики дизеля накладываются друг на друга в координатах $\pi_к = f(G_в)$ (рисунок 4). Область максимальных значе-

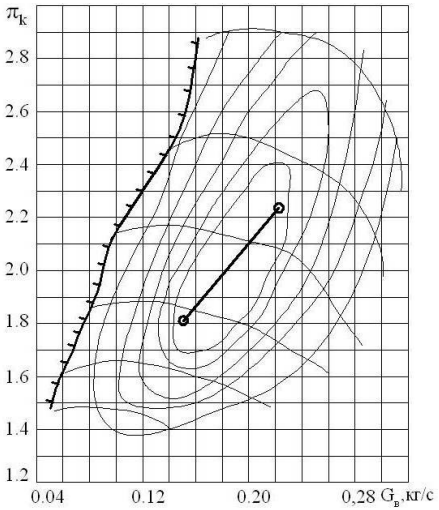

Рисунок 4 - Наложение характеристик компрессора и дизеля

ний КПД компрессора должна охватить характеристику дизеля. Для ввода характеристики дизеля нужно выполнить следующий алгоритм вычислений. По внешней скоростной характеристики дизеля определяются номинальная частота $n_н$, номинальная мощность $Ne_н$ и удельный эффективный расход топлива $g_{ен}$ на номинальном режиме. Соответственно эти же параметры определяют для режима максимального крутящего момента.

По известной зависимости $\alpha_{опт}=f(n)$ определяется оптимальный коэффициент избытка воздуха для номинального режима и режима работы максимального крутящего момента.

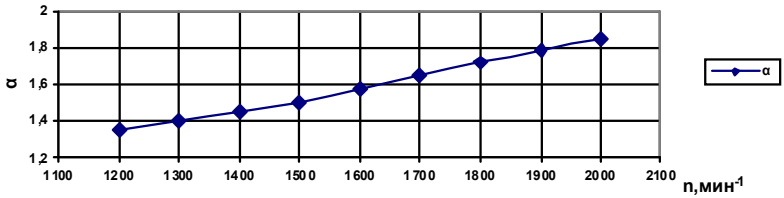

Рисунок 5 - Зависимость оптимального коэффициента избытка воздуха от частоты вращения к.в.

Далее проводится расчет расхода воздуха по внешней скоростной характеристике:

$$G_в=14{,}35\cdot\alpha\cdot\frac{Ne\cdot ge}{1000},\ \text{кг/ч}, \qquad (3)$$

где α - коэффициент избытка воздуха; N_e – эффективная мощность, кВт; g_e – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт ч).

Давление надувочного воздуха определяется по формуле:

$$\Delta P_K=\frac{23897\cdot G_в-\eta_v\cdot V_h\cdot n\cdot B_{окр}}{736\cdot\eta_v\cdot V_h\cdot n},\ \text{МПа}. \qquad (4)$$

Третья глава посвящена описанию экспериментальной установки, методике проведения эксперимента, оценке погрешности измерений и обработке результатов измерений, а также методике анализа индикаторного КПД. В качестве объекта испытаний использовался перспективный дизель серии «30» Д-3040 производства ОАО «ПО АМЗ». Испытания проводились на стенде, оснащенном индукторным тормозом WS-700 (Германия). Управление тормозной установкой и скоростным режимом двигателя осуществлялось «Тест-Командером» системы «Пума» фирмы «АВЛ» (Австрия). Стенд оснащен системой регистрации вредных выбросов отработавших газах. Индицирование и обработка индикаторной диаграммы выполнялись с помощью цифрового анализатора типа 652 «АВЛ».

Для анализа индикаторного КПД использовано уравнение:

$$\eta_i=1-\Delta x_{нп}-\delta_э-\delta_T-\delta_c-\delta_{нс}-\delta_w, \qquad (5)$$

где 1 – относительная располагаемая теплота, введенная в цилиндр с топливом; $\Delta x_{н.п.}$ – неполнота выделения теплоты, обусловленная недогоранием топлива; $\delta_э$ – неиспользование теплоты в эталонном цикле; $\delta_{н.с.}$ – несвоевременность выделения теплоты, определяемая конечной скоростью ввода теплоты в цикл; δ_C, δ_T – неиспользование теплоты в связи с переменностью состава и температуры рабочего тела (РТ); δ_w – неиспользование теплоты вследствие теплообмена.

В четвертой главе представлены экспериментальные результаты доводки экологических показателей дизеля Д-3040 производства ПО АМЗ по разработанной методике. В таблице 1 приведены значения вредных выбросов (ВВ) и удельный эффективный расход топлива на оптимальных по экономичности углах опережения впрыска.

Таблица 1

Комплектация	$Q_{впр}$ экон.	*CO*	*CH*	*PM*	NO_x	$g_{e\,ном}$	$g_{e\,Мк}$
		г/кВт·ч					
Базовая	24°	1,45	0,6	0,12	12,8	222	210
Конечная	22°	0,85	0,5	0,07	10,8	207	198

В конструкцию дизеля согласно 2-х этапов комплексной методики были внесены следующие конструктивные изменения (таблица 2):

Таблица 2

Этап 1	Установлен ТНВД с размерностью плунжерной пары 12×14 вместо 10×12
	Установлен ТКР К-27 (Чехия), обеспечивающий большую подачу воздуха как на номинальном, так и на режиме максимального крутящего момента
	Применен 5-ти сопловой распылитель форсунки
Этап 2	Увеличен диаметр К.С. с 75 до 77 мм при сохранении ее объема (рисунок 9)
	Изменена конструкция впускного канала головки цилиндра. Момент закрутки воздушного заряда уменьшен на 25%. Уменьшено аэродинамическое сопротивление впускных и выпускных каналов.
	Изменены фазы газораспределения (рисунок 8)
	Увеличена степень сжатия ε с 15,5 до 17

Изменение состояния рабочего процесса после каждого этапа конструктивных изменений представлено на рисунках 6, 7. На рисунке 10 представлены данные по вредным выбросам 8-ми режимного испытательного цикла для углов опережения впрыска $Q_{впр}$ =16 и 22° п.к.в. Из рисунка 11 видно, что после 1 этапа при $Q_{впр}$ =22 п.к.в. эмиссия окислов азота *NOx* на 95% превышает допустимую норму по ГОСТ Р 41.96-2005 (6 г/(кВт ч)), и имеется значительный запас по выбросам продуктов неполного сгорания. Снижая угол опережения впрыска до $Q_{впр}$ =16 град. п.к.в., эмиссия *NOx* уменьшается до 5,6 г/(кВт ч), а выбросы продуктов неполного сгорания не превышают предельно допустимые значения: *CH* - 0,6 г/(кВт ч), *CO* - 1,7 г/(кВт ч), твердые частицы (*PM*) - 0,14 г/(кВт ч). При уменьшении угла опережения впрыска $Q_{впр}$ наиболее резко снижаются выбросы NO_x в конечной комплектации и достигают требуемых ГОСТом значений в 6 г/(кВт ч) при угле опережения впрыска $Q_{впр}$ =16° п.к.в.

В комплектации дизеля по 1-му этапу (таблица 2) графики NO_x, PM и CO имеют более пологий вид, нормируемое значение NO_x достигается при 13,5°п.к.в. В базовой же комплектации нормируемое значение NO_x достигается при $Q_{впр}$ менее 12°п.к.в. (рисунок 11).

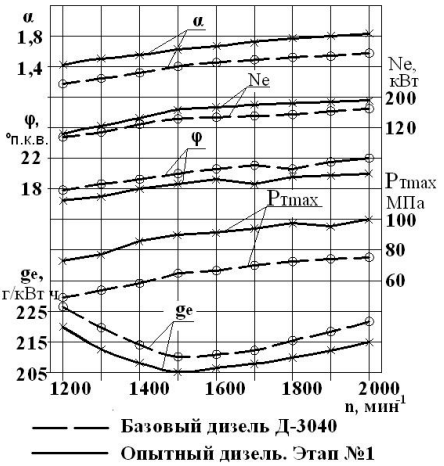

Рисунок 6 - Внешняя скоростная характеристика дизеля Д-3040 после 1-го этапа конструктивных изменений

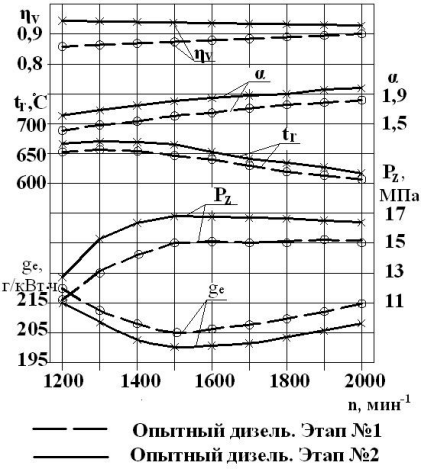

Рисунок 7 - Внешняя скоростная характеристика после 2-го этапа конструктивных изменений

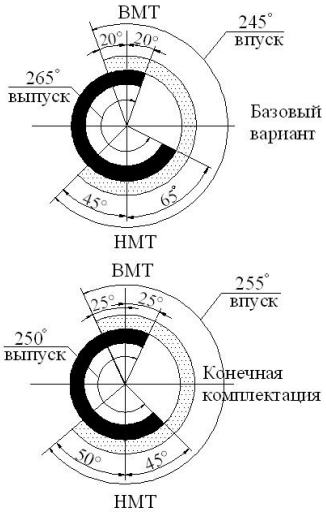

Рисунок 8 – Изменение фаз газораспределения дизеля Д-3040

Рисунок 9 - Схема расположения топливных струй в камере сгорания опытного дизеля

В базовой комплектации и комплектации этапа 1 при снижении угла опережения впрыска топлива $Q_{впр}$ до норм выбросов NO_x (6 г/кВт ч), выбросы твердых частиц *PM* и *CO* превышают нормируемые ГОСТом значения (*CO* = 3,5 г/(кВт ч), *PM* = 0,2 г/(кВт ч) (рисунок 11).

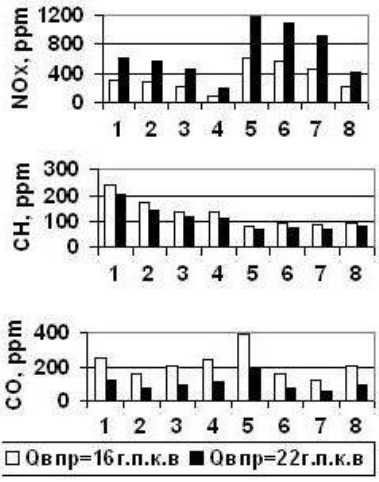

Рисунок 10 - Влияние уменьшения $Q_{впр}$ на выбросы NO_x, *CH* и *CO* по 8-ми режимному испытательному циклу согласно ГОСТ Р 41.96-2005

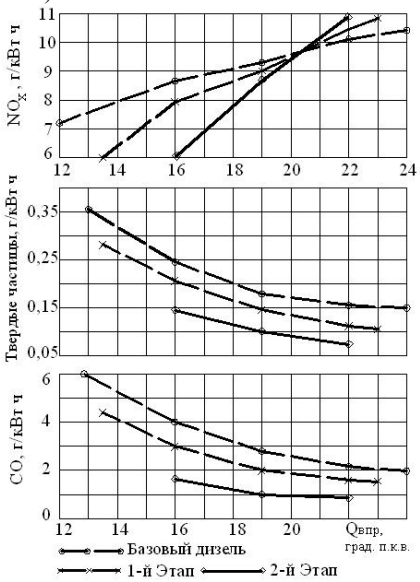

Рисунок 11 - Влияние угла опережения впрыска $Q_{впр}$ на вредные выбросы дизеля Д-3040

Отдельно влияние каждого мероприятия на снижение выбросов вредных веществ представлено в таблице 3

Таблица 3

	CO	*CH*	NO_x	*PM*	g_e
	г/(кВт·ч)				
Подбор топливной аппаратуры	0,2	0,1	–	0,025	4÷6
Подбор ТКР	0,3	–	0,4	0,02	1÷2,5
Доводка газодинамических параметров впускных и выпускных каналов, К.С.	0,4	–	–	0,025	3÷4
Подбор фаз газораспределения	–	–	1,7	–	–
Увеличение степени сжатия ε позволяет компенсировать рост продуктов неполного сгорания на пониженных углах					
Уменьшение угла опережения впрыска снижает выбросы NO_x					

На рисунке 11 не показана характеристика изменения углеводородов *CH*, так как она имеет практически горизонтальный вид, и увеличение выбросов произошло только при замене форсунок, т.к. у нового распылителя большее подъигольный объем. Максимальное значение выбросов *CH* составило 0,6 г/(кВт ч), что значительно меньше нормируемого значения (*CH* = 1 г/(кВт ч).

С представленной во второй главе комплексной методикой совершенствования экологических показателей хорошо согласуется возможность применения рапсового масла в качестве топлива, для которого на оптимальном по экономичности угле опережения впрыска эмиссия вредных выбросов составила *CO* – 0,77 г/(кВт·ч); *CH* – 0,52 г/(кВт·ч); *PM* – 0,66 г/(кВт·ч); NO_x – 12 г/(кВт·ч). По сравнению с дизельным топливом на режимах больших нагрузок снижается выход продуктов неполного сгорания (режим 1, 2, 5), и на всех режимах 8-ми режимного испытательного цикла увеличивается эмиссия окислов азота NO_x.

Оптимальный по экономичности угол опережения впрыска при работе на рапсовом масле увеличился на 4° п.к.в. и составил 26° п.к.в. Так как рапсовое масло по сравнению с дизельным топливом имеет на 12 % меньшие значения низшей теплоты сгорания, то для достижения той же мощности удельный эффективный расход топлива g_e возрос на 11% (рисунок 12). Необходимо отметить, что при испытаниях рапсовое масло подогревалось до температуры 80°С.

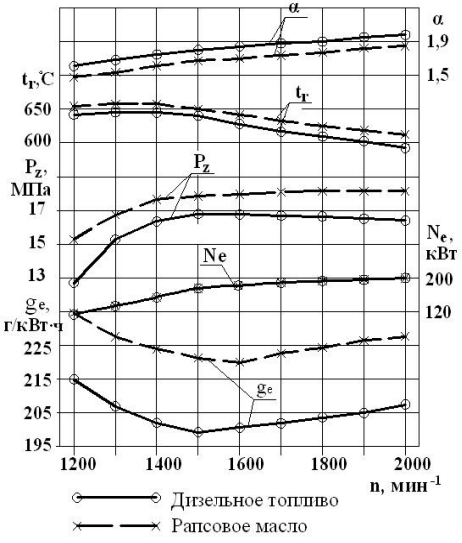

Рисунок 12 - Внешняя скоростная характеристика дизеля на оптимальном по экономичности угле опережения впрыска $Q_{впр}$

Нормируемые ГОСТ Р 41.96-2005 значения выбросов NO_x достигаются при снижении угла опережения впрыска топлива до $Q_{впр}$=14° п.к.в. Всего на рапсовом масле $Q_{впр}$ снизился на 12°п.к.в. Столь существенное снижение угла не привело к увеличению выбросов продуктов неполного сгорания, превышающих нормируемые ГОСТом значения (*CH* = 1 г/(кВт ч), *CO* = 3,5 г/(кВт ч), *PM* = 0,2 г/(кВт ч). Во многом это объясняется снижением выбросов *CH*, *CO* и *PM* на оптимальном по экономичности угле опережения впрыска. Вредные выбросы на угле опережения впрыска $Q_{впр}$ =14° п.к.в. составили *CH* – 0,8 г/(кВт·ч); *CO* – 2,3 г/(кВт·ч); *PM* – 0,18 г/(кВт·ч), NO_x – 5,5 г/(кВт·ч).

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ:

1. Разработана комплексная методика совершенствования экологических показателей дизелей, состоящая из двух этапов. На первом этапе оптимизацией параметров топливной аппаратуры и турбокомпрессора решалась задача снижения выбросов продуктов неполного сгорания. На втором этапе оптимизацией диаметра *КС*, доводкой впускных и выпускных каналов, увеличением степени сжатия, подбором фаз газораспределения и уменьшением угла опережения впрыска решалась задача снижения эмиссии NO_x. Разработанная комплексная методика снижения ВВ с отработавшими газами позволяет исключить использование дорогостоящих комплектующих и технологий, усложняющих производство и ремонт дизелей.
2. Для проводимых исследований модернизирован испытательный стенд, измерительно-регистрирующая аппаратура обеспечивает решение поставленных задач с достаточной точностью, что подтверждено анализом погрешностей измерений.
3. Оптимизация параметров топливной аппаратуры в части определения давления впрыска и диаметра распыливающих отверстий, позволила снизить выбросы продуктов неполного сгорания: *CO* на 0,2 г/(кВт·ч) (20%), выбросы твердых частиц *PM* - на 0,025 г/кВт·ч (39%), удельный эффективный расход топлива g_e снизился по всей скоростной характеристике на 4 ÷ 6 г/(кВт·ч).
4. Оптимизация параметров турбонаддува (ТКР К-27) позволила снизить как выбросы продуктов неполного сгорания *CO* на 0,3 г/(кВт·ч) (30%), *PM* на 0,02 г/(кВт·ч) (29%), так и эмиссию окислов азота NO_x с 12,8 г/(кВт·ч) до 12,4 г/(кВт·ч) (7%). Удельный эффективный расход топлива на номинальном режиме был снижен на 2,5 г/(кВт ч) и 1 г/(кВт ч) на режиме максимального крутящего момента.
5. Доводка газодинамических параметров впускных и выпускных каналов позволила снизить выбросы *CO* до 0,4 г/(кВт·ч) (40%), твердых частиц *PM* до 0,025 г/(кВт·ч) (39%), удельный эффективный расход топлива g_e по всей скоростной характеристике был снижен на 3÷4 г/(кВт ч).
6. Оптимизация фаз газораспределения позволила без заметного увеличения выбросов продуктов неполного сгорания и удельного эффективного расхода топлива, снизить эмиссию окислов азота NO_x на 1,7 г/(кВт·ч) (29%).
7. **В результате реализации предложенной методики на дизеле Д-3040 на первом этапе удалось снизить выброс *CO* на 0,5 г/(кВт ч), твердых частиц *PM* - на 0,045 г/(кВт ч), что соответственно составляет 50% и 68 %. Окончательно, после второго этапа, эмиссия NO_x была снижена на 5,7 г/кВт ч (на 95%), расход топлива g_e - на 6 г/(кВт ч) при сохранении выбросов продуктов неполного сгорания, не превышающих требования ГОСТ Р 41.96 – 2005.**
8. При переводе дизеля Д-3040 на рапсовое масло, подогретое до 80ºС, при

оптимальном по экономичности угле $Q_{впр}$ = 26 град.п.к.в. эмиссия вредных веществ уменьшилась и составила: *CO* – 0,77 г/(кВт·ч); *CH* – 0,52 г/(кВт·ч); *PM* – 0,66 г/(кВт·ч); *NOx* – 12 г/(кВт·ч); не превышающие ГОСТ Р 41.96-2005 значения выбросов достигаются при $Q_{впр}$=14° п.к.в. и составляют *CH* – 0,8 г/(кВт·ч); *CO* – 2,3 г/(кВт·ч); *PM* – 0,18 г/(кВт·ч), *NOx* – 5,5 г/(кВт·ч).

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. **Фролкин, А. С.** Разработка мероприятий по снижению вредных выбросов перспективных дизелей серии Д-3040 производства ОАО «ПО АМЗ» [Текст] / А. С. Фролкин, В. А. Аверин // Ползуновский вестник. – 2008. - № 1-2. – С. 127-130.
2. **Фролкин, А. С.** Комплексный метод снижения вредных выбросов дизелей серии «30» производства ОАО «ПО АМЗ» [Текст] / А. Е. Свистула, А. С. Фролкин // Вестник Академии военных наук. – 2010. - № 1. – С. 188-192.

статьи в других изданиях, отражающие основное содержание работы:

3. **Фролкин, А. С.** Экспериментальное исследование влияния хода иглы распылителя на удельный эффективный расход топлива [Текст] / А. С. Фролкин // 60-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. - С. 33-34.
4. **Фролкин, А. С.** Влияние увеличения хода иглы на экономичность дизеля / А. Е. Свистула, А. С. Фролкин // 61-я научно-техническая конференция «Наука производству». – Барнаул, 2003. - С. 120-121.
5. **Фролкин, А. С.** Результаты доводки экологических характеристик тракторного дизеля Д-3040 / А. Е. Свистула, А. С. Фролкин // Материалы второй всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Барнаул, 2008. - С. 222-226.
6. **Фролкин, А. С.** Повышение экологической безопасности перспективного дизеля Д-3040 / Д. Д. Матиевский, А. С. Фролкин, А. Е. Свистула// Материалы науч.-техн. конференции, посвященной 40-летию кафедры двигателей. – Челябинск, 2008. – С. 76-81.
7. **Фролкин, А. С.** Применение рапсового масла в качестве топлива на дизелях «ПО АМЗ» /А. Е. Свистула, А. С. Фролкин, И. А. Свистула // Материалы международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения М. Ф. Балжи. – Челябинск: ЮУрГУ, 2008. - С. 160-163.
8. **Фролкин, А. С.** Снижение вредных выбросов перспективных дизелей серии «30» производства ОАО «ПО АМЗ» / А. С. Фролкин, А. Е. Свистула // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: материалы XI международной научно-практической конференции. – Владимир: ВлГУ, 2008. - С. 224-227.
9. **Фролкин, А. С.** Улучшение экологических характеристик дизелей серии «30» производства ОАО «ПО Алтайский моторный завод» / Д. Д. Мати-

евский, А. Е. Свистула, А. С. Фролкин // Международная науч.-техн. конференция «Двигатели 2008». – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. - С. 205-210.

10. **Фролкин, А. С.** Уменьшение токсичности выбросов с отработавшими газами перспективных тракторных дизелей серии Д-3040 / Д. Д. Матиевский, А. Е. Свистула, А. С. Фролкин // Двигатели внутреннего сгорания (Двигуни внутрішнього згоряння): научно-технический журнал. – Харьков: НТУ ХПИ, - 2008. - №1. - С. 153-156.

11. **Фролкин, А. С.** Методика доводки газодинамических параметров впускных и выпускных каналов дизеля / А. Е. Свистула, А. С. Фролкин // Материалы 67-й научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2009. - С. 49-56.

12. **Фролкин, А. С.** Методика обеспечение современных экологических норм дизелями сельскохозяйственного назначения / А. Е. Свистула, А. С. Фролкин // Вестник Алтайской науки. – Барнаул: изд-во АГУ. - 2010. - №1. - С. 72-76.

Подписано в печать 25.04.2011. Формат 60х84 1/16.
Печать – цифровая. Усл.п.л. 0,93.
Тираж 100 экз. Заказ 2011 - 308

Отпечатано в типографии АлтГТУ,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46
тел.: (8–3852) 29–09–48

Лицензия на полиграфическую деятельность
ПЛД №28–35 от 15.07.97 г.