



**«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Многофакторное прогнозирование экологических характеристик дизеля на основе вычислительных методов и метода натурного эксперимента



Новиков Максим Александрович

Научный руководитель:
д.т.н. проф. Обозов А.А.

05.02.04 «Тепловые двигатели»

Актуальность проблемы

Работа дизелей транспортного сельскохозяйственного назначения оценивается комплексом эксплуатационно-технических показателей. В настоящее время важнейшими из них являются показатели токсичности отработавших газов (ОГ). Это обусловлено как ухудшением экологической обстановки, так и ужесточением требований, предъявляемых к двигателям внутреннего сгорания современными нормативными документами на токсичность ОГ.

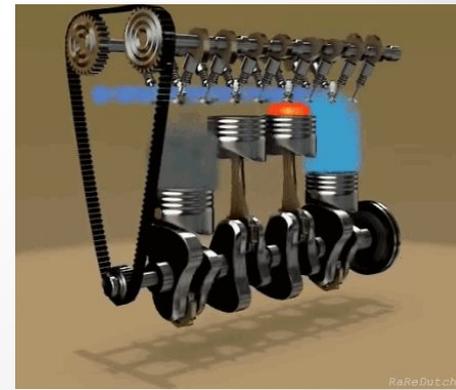
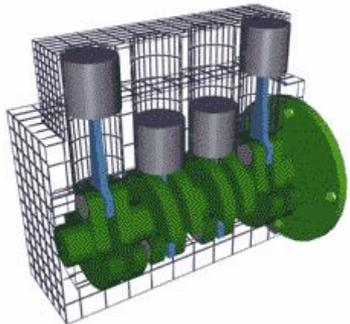
Категория*	Нормы токсичности	Дата введения	CO	CH	CH + NOx	NOx	Твердые частицы (сажа)
N ₁ , Класс II, 1305... 1760 кг	Euro 3	январь 2001	0,80	–	0,72	0,65	0,07
	Euro 4	январь 2006	0,63	–	0,39	0,33	0,04
	Euro 5	сентябрь 2010	0,63	–	0,295	0,235	0,005 ^A
	Euro 6	сентябрь 2015	0,63	–	0,195	0,105	0,005 ^A
	Euro 1	октябрь 1994	6,90	–	1,70	–	0,25
	Euro 2, IDI	январь 1998	1,5	–	1,20	–	0,17
	Euro 2, DI	январь 1998	1,5	–	1,6	–	0,20
N ₁ , Класс III >1760 кг	Euro 3	январь 2001	0,95	–	0,86	0,78	0,10
	Euro 4	январь 2006	0,74	–	0,46	0,39	0,06
	Euro 5	сентябрь 2010	0,74	–	0,350	0,280	0,005 ^A
	Euro 6	сентябрь 2015	0,74	–	0,215	0,125	0,005 ^A

Стандарты Евросоюза по токсичности ОГ г/км

Научная новизна

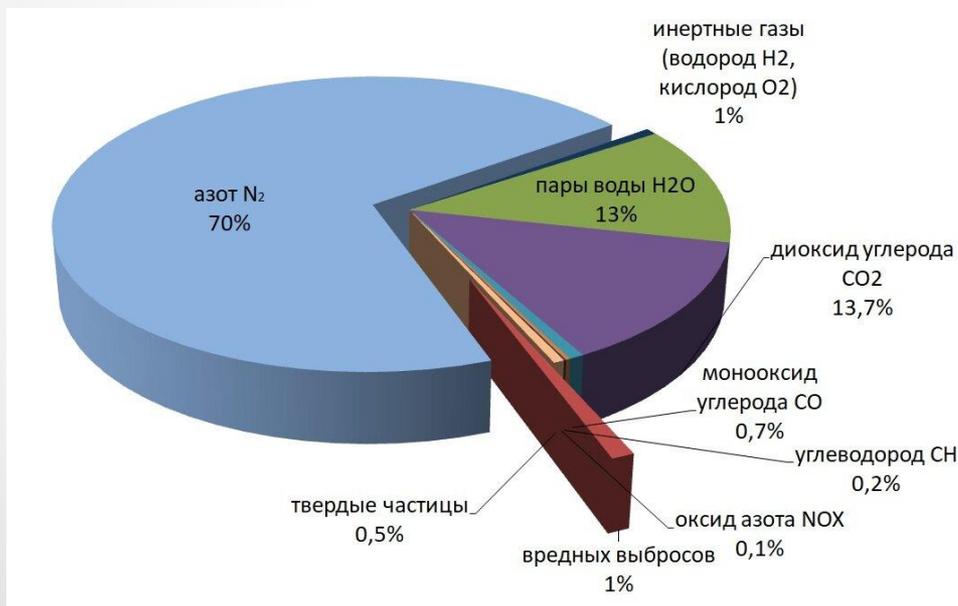
Научная новизна заключается в формировании модели многофакторного прогнозирования экологических характеристик дизеля, на основе экспериментальных данных верифицирована математическая модель расчета РП дизеля, учитывающая его конструктивные особенности (форма КС, ориентацию каждой ТС, вихревое число и т.д.) и регулировочные параметры (характеристики топливоподачи, настройки ТПА и т.д.);

- экспериментально установлено влияние характеристик топливоподачи при различных настройках параметров ТПА (угла впрыска топлива (УВТ) φ , количества топлива) на экономичность и выбросы NO_x , CH и CO с ОГ дизеля и дана их количественная



Анализ состояния вопроса

Состав отработавших газов

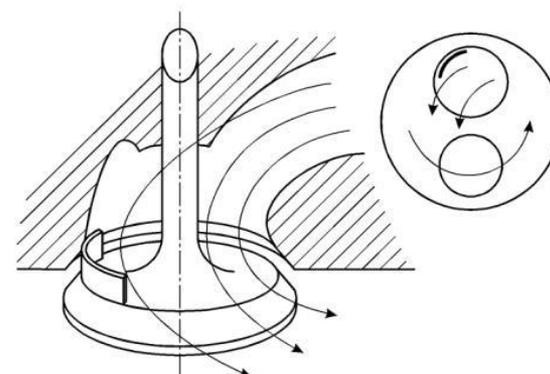
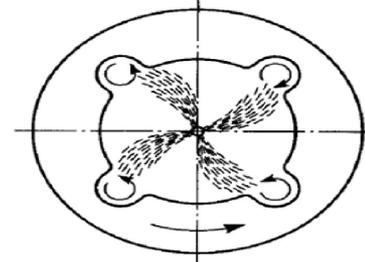
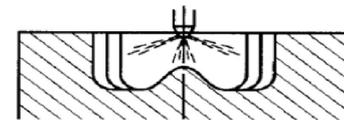


Монооксид углерода (CO)
Диоксид углерода (CO₂)
Оксиды азота (NO_x)
Несгоревшие углеводороды (CH)
Дисперсные (твердые) частицы (PM)
Двуокись серы (SO₂)

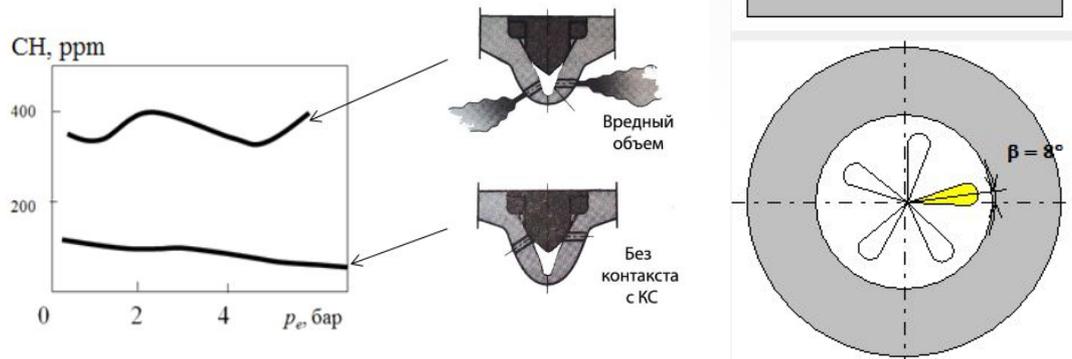
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ПАРАМЕТРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

- степень сжатия;
- форма камеры сгорания;
- интенсивность движения воздушного заряда;

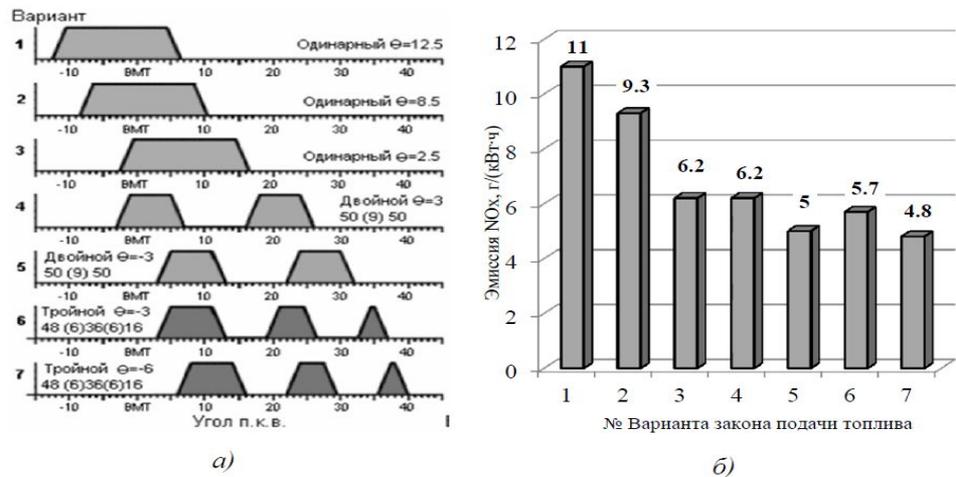


- число, ориентация сопловых отверстий и конструктивные особенности распылителя форсунки;



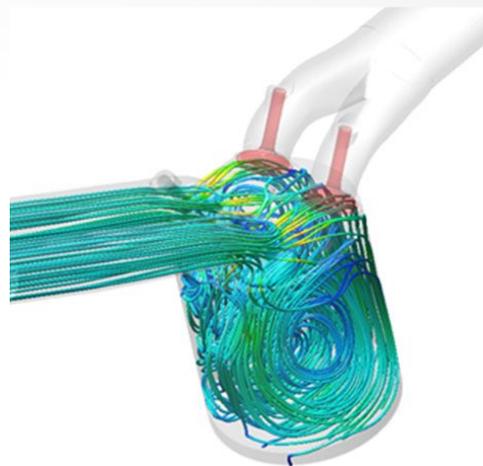
Влияние конструкции распылителя на выбросы

- характеристика топливоподачи (количество стадий, количество топлива в каждой стадии, угловой интервал между порциями и угол начала подачи топлива);



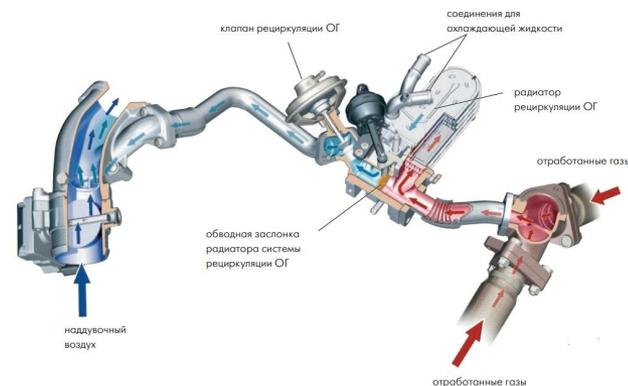
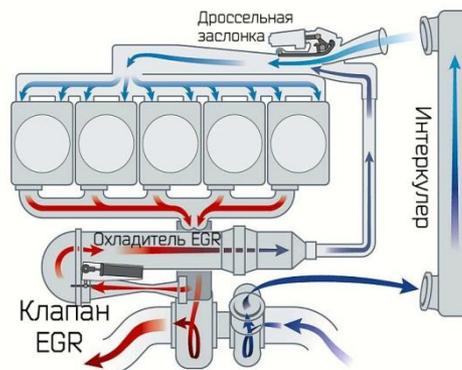
Исследуемые характеристики топливоподачи и значения эмиссии NOx в ОГ

- максимальное давление
подачи топлива;

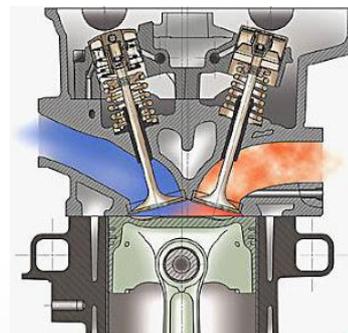


- газодинамические
характеристики впускных и
выпускных каналов головки
блока цилиндров;

- система рециркуляции
отработавших газов;



- зазор «головка поршня –
цилиндр» и расположение
поршневых колец на поршне.



КОНСТРУКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

КАТАЛИТИЧЕСКИЕ НЕЙТРАЛИЗАТОРЫ

В устройствах каталитической нейтрализации используются окислительно-восстановительные реакции для химического доокисления или восстановления продуктов неполного окисления топлива при протекании их через активную зону нейтрализатора.

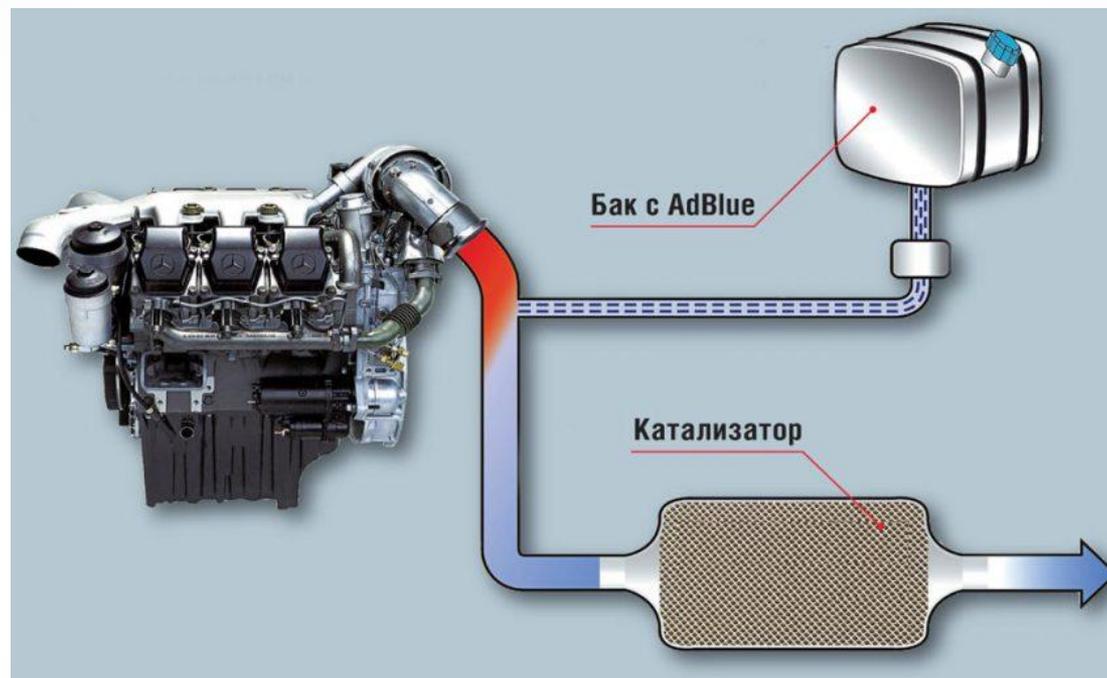


Сажевые фильтры

Представляет собой керамический блок из карбида кремния с большим количеством тонких каналов для прохода отработанных газов. Частицы сажи, задерживаясь на поверхности этих каналов, под действием повышенной температуры и других факторов окисляются и превращаясь в углекислый газ выбрасываются в атмосферу с выхлопными газами.

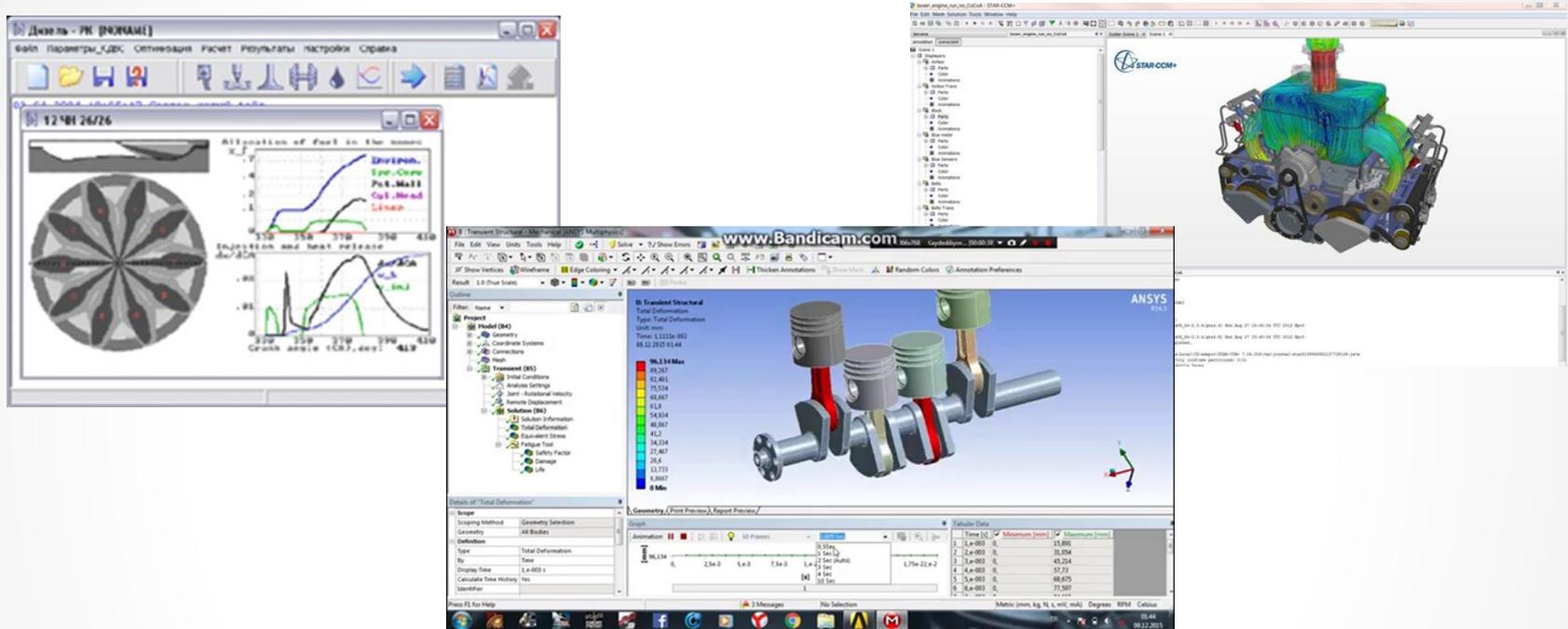


Использование мочевины



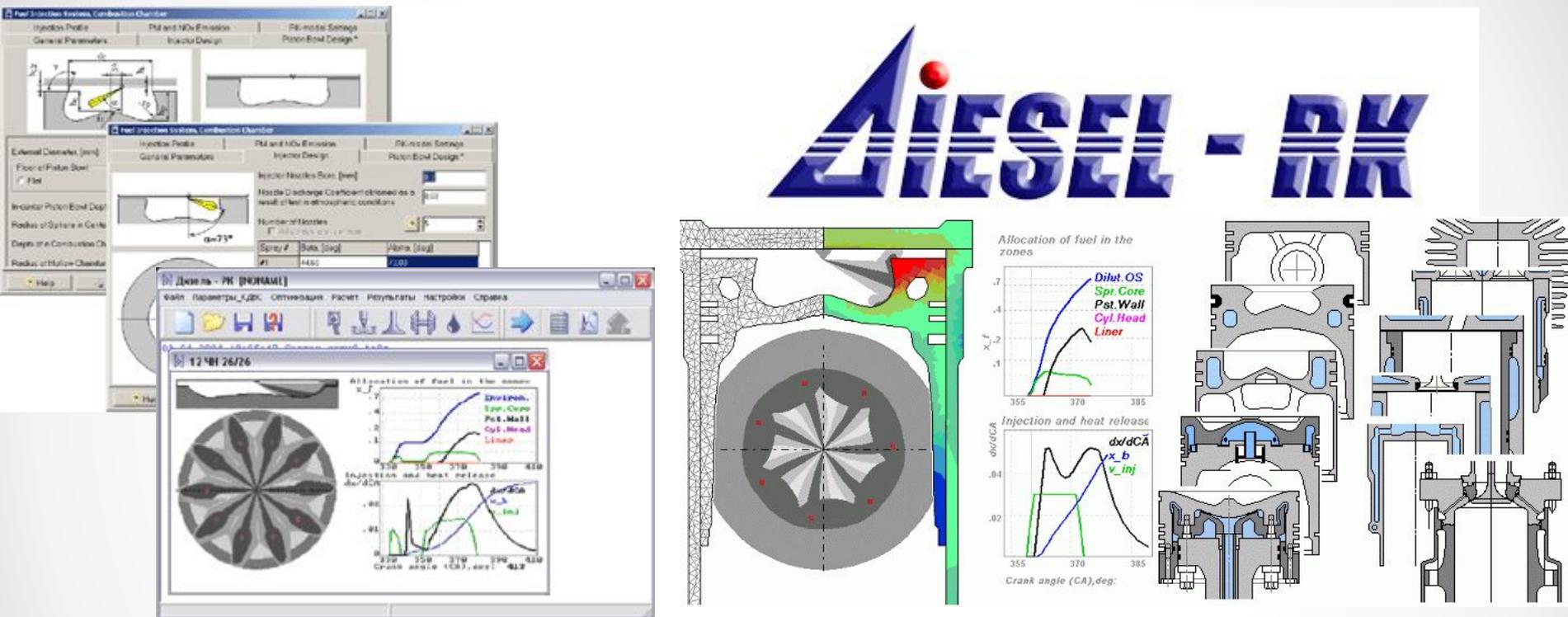
Жидкостная система нейтрализации вредных выбросов в ОГ, или SCR-нейтрализатор, представляет собой закрытую систему, через которую проходит очищенный от сажи выхлоп дизеля.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ



В настоящее время в виду сокращения времени на модернизацию и создание новых образцов двигателей, широкое распространение получило математическое и компьютерное моделирование ДВС. Наибольшей популярностью пользуются программы: KIVA; STAR-CD; FIRE (AVL); VECTIS.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДИЗЕЛЬ РК



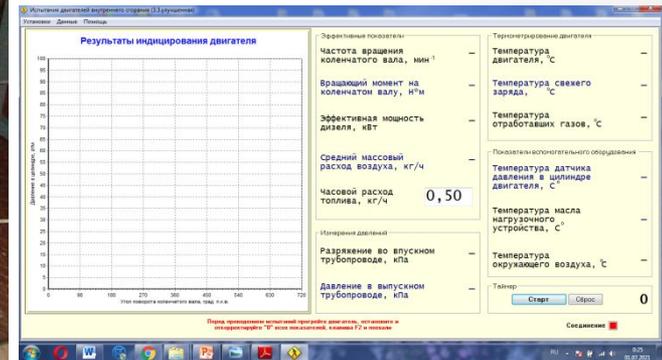
Программный комплекс ДИЗЕЛЬ РК разрабатывается уже в течение более чем 20 лет, и за это время он прошел проверку применительно к двигателям различной размерности, быстроходности и применения. Математические модели постоянно развиваются, расширяя круг решаемых с помощью комплекса задач. Результаты расчета постоянно сопоставляются с экспериментальными данными разных авторов (в основном, с данными заводов - изготовителей двигателей).

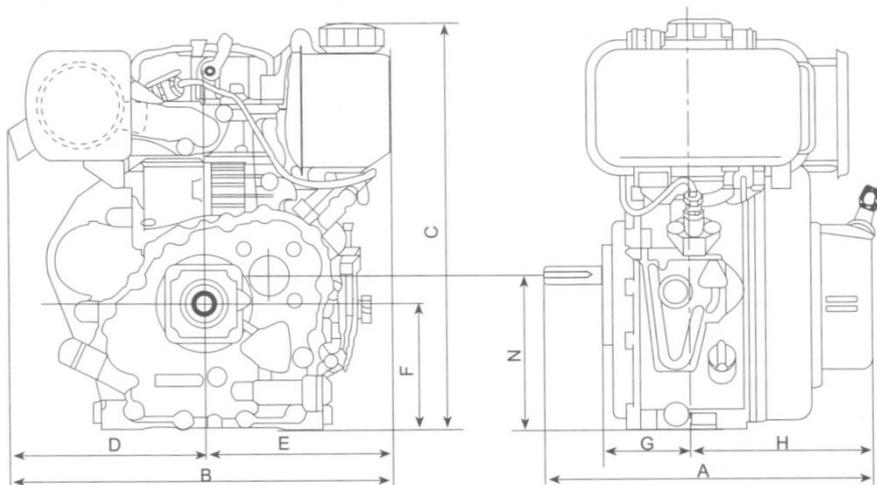
ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Создание испытательного стенда с дизелем Д-240 ММЗ.
2. Разработка методик и проведение экспериментальных исследований на двигателях КМ-170FA и Д-240 ММЗ.
3. Математическая обработка полученных экспериментальных данных.
4. Математическое моделирование внутрицилиндровых процессов и процессов образования токсичных компонентов с помощью программного комплекса «Дизель-РК» МГТУ им. Н.Е. Баумана.
5. Анализ согласованности полученных экспериментальных и расчетных данных.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТЕНДЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЕЙ.

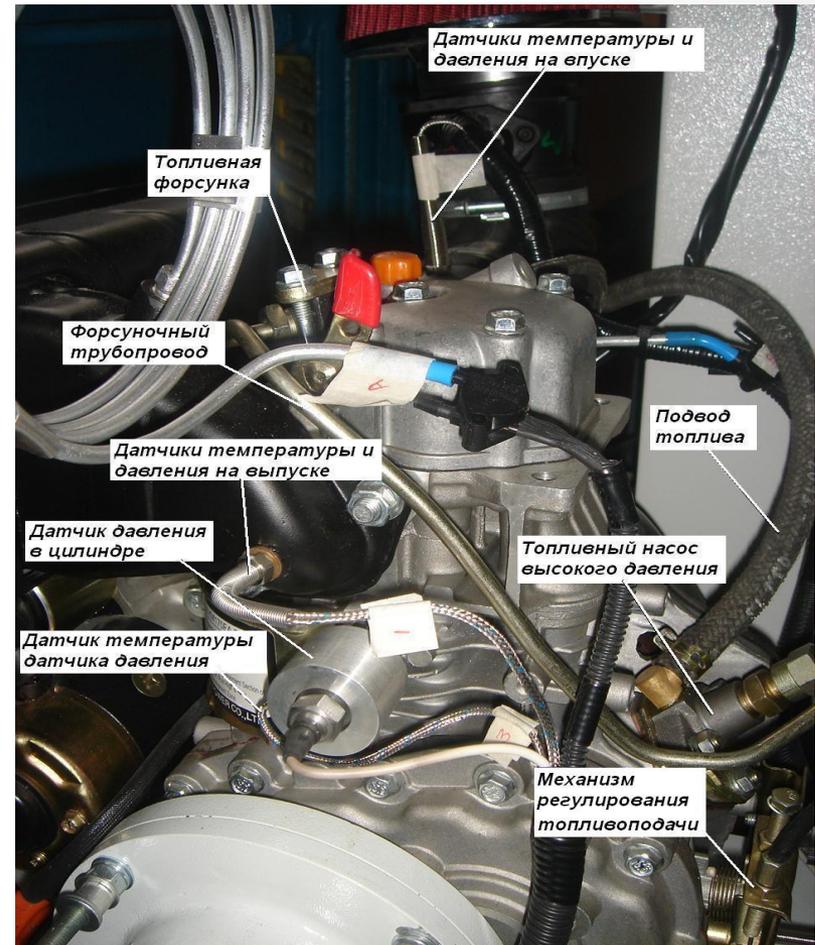
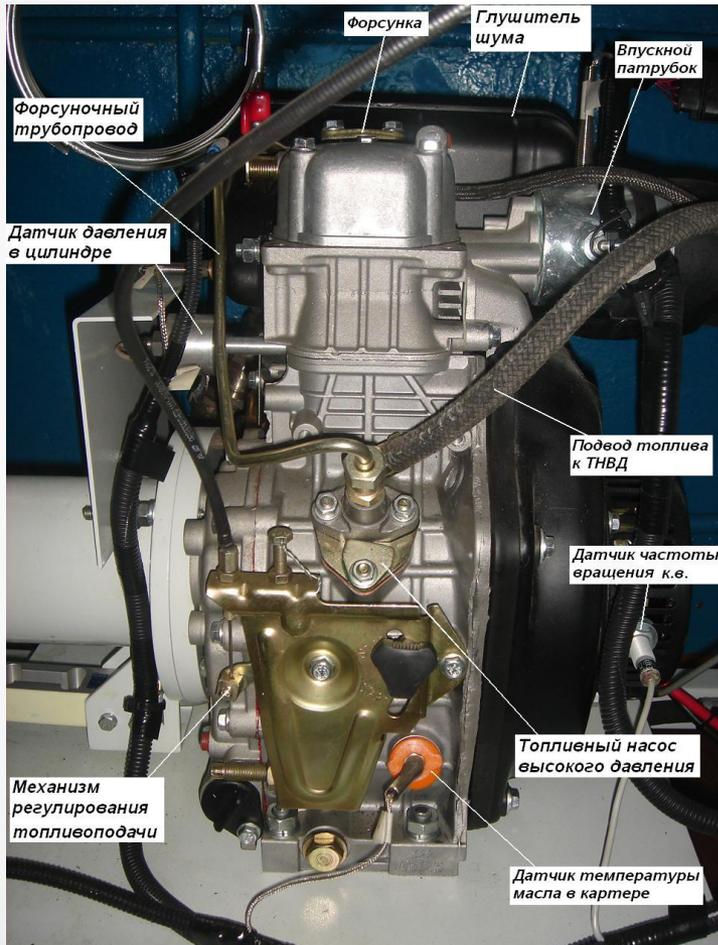
Автоматизированный лабораторный стенд для изучения рабочих процессов дизельных двигателей внутреннего сгорания РПДД-ГНм с двигателем КМ 170FA



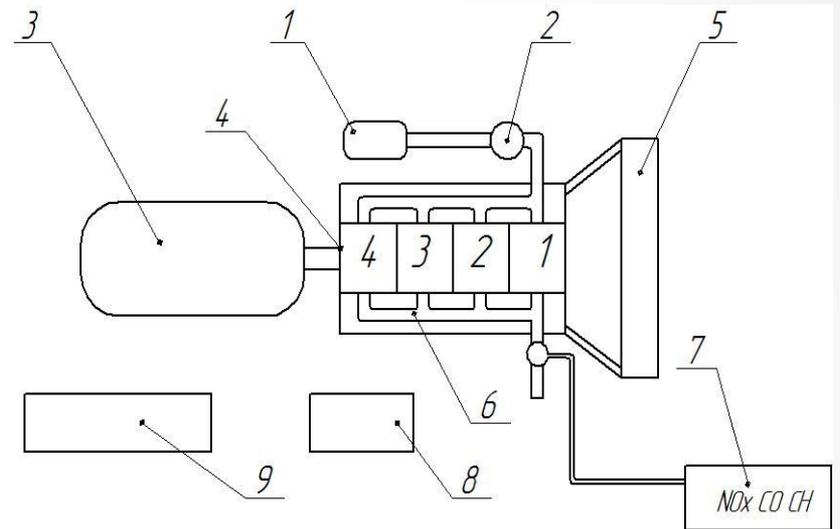


Тип двигателя	Четырехтактный, с воспламенением от сжатия
Число цилиндров и их расположение	1 цилиндр
Диаметр цилиндра, мм	70
Ход поршня, мм	57
Рабочий объем двигателя, л	0,219
Степень сжатия	20
Число впускных клапанов	1
Число выпускных клапанов	1
Камера сгорания	Открытого типа с центральным расположением
Топливоподающая аппаратура	Топливный насос
Форсунка	с четырёх дырчатым распылителем закрытого типа
Распылитель форсунки	4-х сопловой, диаметр отверстия 0,31 мм
Номинальная мощность/частота (кВт/мин-1)	2,8/3600

РАСПОЛОЖЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДВИГАТЕЛЯ И ДАТЧИКОВ

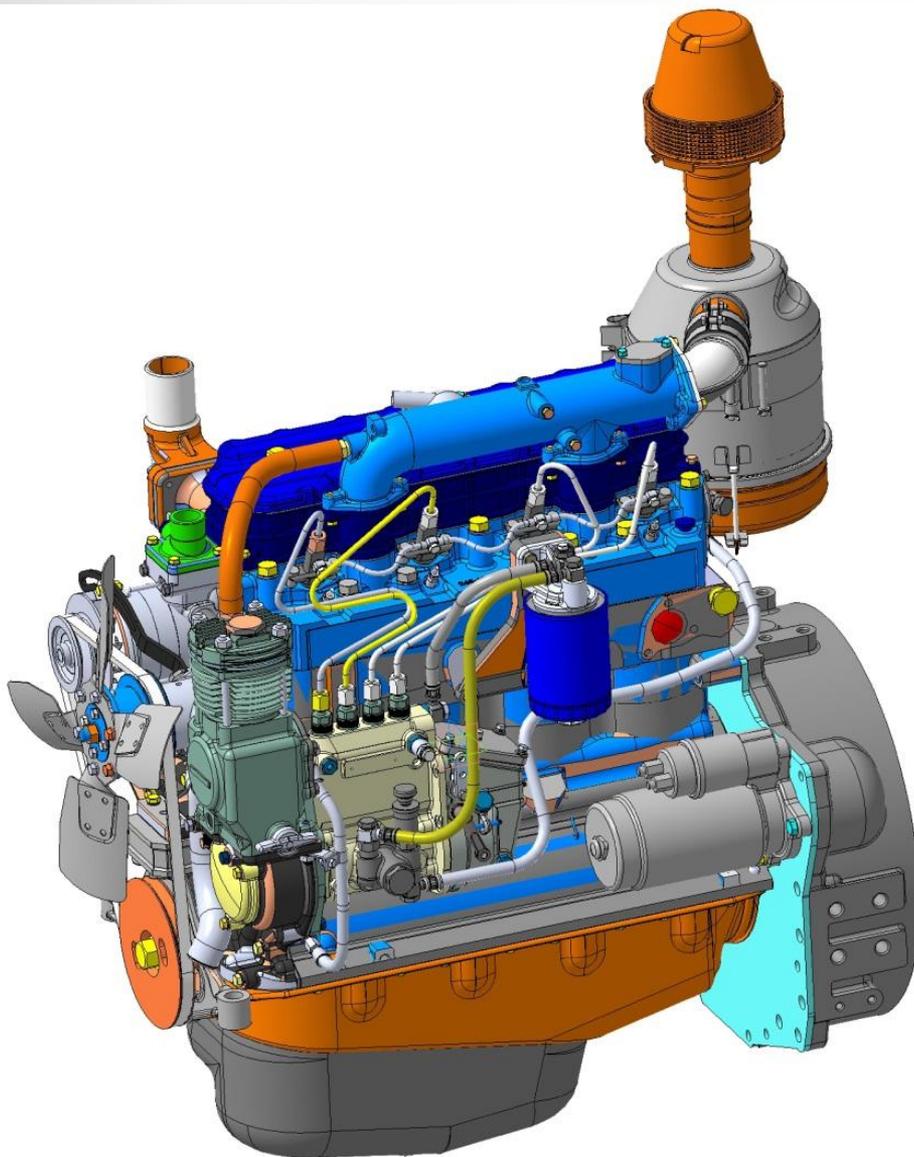


ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД С ДВИГАТЕЛЕМ Д-240 ММЗ



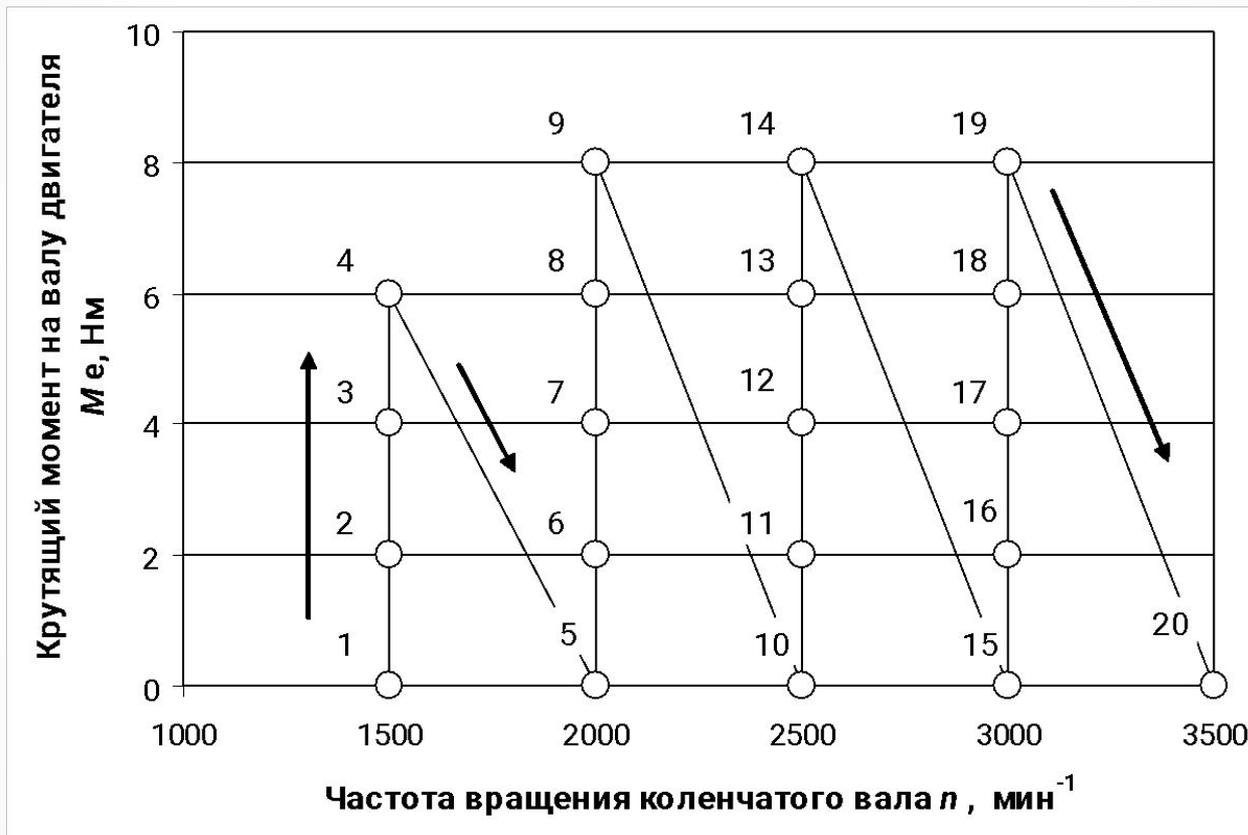
Принципиальная схема испытательного стенда





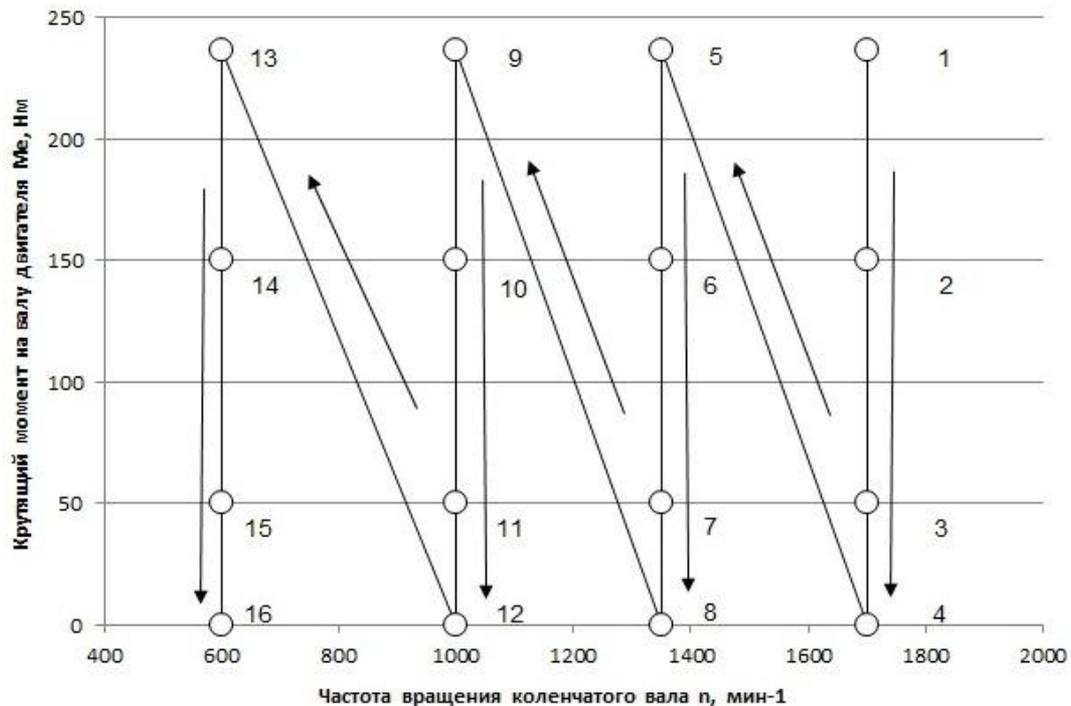
Тип двигателя	Четырехтактный, с воспламенением от сжатия
Число цилиндров и их расположение	4 цилиндра, рядное
Диаметр цилиндра, мм	110
Ход поршня, мм	125
Рабочий объем двигателя, л	4,75
Степень сжатия	16
Число впускных клапанов	1
Число выпускных клапанов	1
Камера сгорания	Открытого типа с центральной расположением
Топливоподающая аппаратура	Топливный насос 4УТНИ
Форсунка	с пятидырчатым распылителем закрытого типа
Распылитель форсунки	5-ти сопловой, диаметр отверстия 0,31 мм
Максимальный крутящий мо- мент/частота (Н·м/мин ⁻¹)	298/1600
Номинальная мощность/частота (кВт/мин ⁻¹)	59,1/2200

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ДВИГАТЕЛЯХ КМ-170ФА И Д-240 ММЗ.



План эксперимента для двигателя КМ-170ФА

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ДВИГАТЕЛЯХ КМ-170ФА И Д-240 ММЗ.



План эксперимента для двигателя Д-240 ММЗ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

№	$n, \text{ мин}^{-1}$	$n, \text{ мин}^{-1}$	Мкр	$t, \text{ с}$	$G, \text{ кг/ч}$	CO ₂ %	CH, ppm	NOx, ppm	CO ₂ , %	O ₂ %	λ
1	1448	1500	0	184,49	0,195	0,120	47,000	404,000	2,610	16,300	0,000
2	1510	1500	2	161,95	0,222	0,100	52,000	469,000	3,070	15,300	0,000
3	1497	1500	4	130,90	0,275	0,900	49,000	573,000	3,060	14,200	0,000
4	1537	1500	6	83,26	0,432	0,210	61,000	11,000	4,000	20,100	0,000
5	2047	2000	0	151,96	0,237	0,050	14,000	3,000	0,690	20,100	0,000
6	2057	2000	2	134,76	0,267	0,080	45,000	194,000	1,900	17,300	0,000
7	2043	2000	4	100,22	0,359	0,080	49,000	410,000	3,440	15,100	0,000
8	2010	2000	6	83,32	0,432	0,120	52,000	748,000	6,300	20,100	0,000
9	2023	2000	8	51,00	0,706	1,120	141,000	572,000	9,180	6,260	1,367
10	2497	2500	0	110,98	0,324	0,081	40,000	331,333	3,187	15,800	0,000
11	2487	2500	2	103,48	0,341	0,120	47,333	299,000	3,287	15,433	0,000
12	2463	2500	4	91,50	0,393	0,110	42,667	376,333	3,563	14,500	0,000
13	2403	2500	6	70,20	0,513	0,100	14,667	504,667	3,797	12,500	0,000
14	2507	2500	8	53,12	0,678	0,223	66,000	693,000	7,357	9,700	1,877
15	3080	3000	0	97,79	0,368	0,110	43,000	282,000	3,080	15,800	0,000
16	3000	3000	2	82,66	0,436	0,097	36,000	398,667	3,663	14,600	0,000
17	2957	3000	4	68,00	0,513	0,100	14,667	504,667	3,797	12,500	0,000
18	2817	3000	6	51,00	0,706	1,120	141,000	572,000	9,180	6,260	1,367
19	2773	3000	8	36,00	0,864	1,360	188,000	757,000	11,560	5,400	1,637
20	3470	3500	0	20,00	1,200	1,800	270,000	1080,000	13,500	4,500	2,000

№	$n, \text{ мин}^{-1}$	Число вращения колесного вала	Вращающий момент колесного вала	Эффективная мощность двигателя	Средний массовый расход воздуха	Несовой расход топлива	Температура двигателя	Температура свежего воздуха	Температура обрабатываемого газа	Разрешение по тупорному трубопроводе	Давление в выпускном трубопроводе	Температура дачка давления в цилиндре двигателя	Температура нагнетательного устройства	Температура вращающего воздуха	Удельный эффективный расход топлива
№	$n, \text{ мин}^{-1}$	Me, Н·м	Me, кВт	кг/ч	кг/ч	*°C	*°C	*°C	*°C	кПа	кПа	*°C	*°C	*°C	$g_e / \text{л/кВтч}$
1	1447,5	1,18	0,183	14,300	0,195	37,5	22,1	98,8	0,025	2,275	76,5	25,1	21,8	1069	
2	1510,0	2,00	0,317	15,900	0,222	46,6	22,3	117,3	0,033	2,267	93,6	28,0	21,9	702	
3	1496,7	3,43	0,537	14,467	0,275	54,3	22,6	148,0	0,100	2,333	105,7	32,1	22,1	512	
4	1536,7	6,17	0,993	15,033	0,432	58,4	22,8	206,7	0,033	2,500	113,0	35,3	22,1	435	
5	2046,7	0,67	0,217	17,600	0,237	63,3	22,9	121,7	0,233	1,400	117,7	38,6	22,2	1093	
6	2056,7	2,07	0,440	18,867	0,267	64,0	22,9	121,0	0,200	1,367	114,3	39,5	22,3	607	
7	2043,3	4,10	0,887	18,500	0,359	65,4	23,3	167,0	0,333	1,400	109,3	45,6	22,9	405	
8	2010,0	6,30	1,323	17,267	0,432	66,1	24,2	213,3	0,333	1,700	107,3	51,4	23,4	372	
9	2023,3	8,93	1,897	17,600	0,706	74,3	24,2	328,7	0,400	3,200	137,7	61,1	23,6	327	
10	2496,7	0,01	0,001	19,567	0,324	58,3	20,1	144,7	0,033	1,800	106,7	35,8	19,6	324383	

№	n	n*	Me	Pe	Pтрорм	Pтрорм *	CO	CH	Nox	CO2	O2	λ	Gt	ΔH	t Gt
1	1700	1728	236	42,01	33,60	32,6	0,08	27,25	1866,5	9,07	18,775		10,297	252	34,96
2	1700	1773	150	26,70	21,36	21	0,025	16,5	2103,3	5,1275	13		7,0436	266	51,11
3	1700	1786	50	8,90	7,12	6,92	0,07	26,75	659,25	2,45	16,9		3,3626	280	107,06
4	1700	1789	0	0,00	0,00	1,2	0,1	35,75	172	1,49	18,4		2,2167	286	162,4
5	1350	1329	236	33,36	33,60	32,5	0,0425	11,75	2617	8,0925	9,145	661,4969	7,9876	168	45,07
6	1350	1394	150	21,20	21,36	21,45	0,0075	6,5	1559,8	4,73	13,3		5,3004	188	67,92
7	1350	1445	50	7,07	7,12	8,25	0,05	19,75	1001	2,3875	16,75		3,2186	202	111,85
8	1350	1481	0	0,00	0,00	1	0,105	34,25	136	1,2925	18,5		1,6307	214	220,77
9	1000	1031	236	24,71	33,60	25	0,03	24	2795,3	6,0325	11,7		5,1717	107	69,61
10	1000	1106	150	15,71	21,36	14,8	0,01	31,5	1665,5	3,465	14,975		3,3692	125	106,85
11	1000	1157	50	5,24	7,12	6,1	0,0675	32,5	615,75	2,025	17,1		2,1646	140	166,31
12	1000	1203	0	0,00	0,00	0,5	0,115	19,25	139,5	1,235	18,575		1,4319	150	251,41
13	600	728	236	14,83	33,60	18,2	0,0175	34,75	3069,3	4,67	13,425		3,084	60	116,73
14	600	785	150	9,42	21,36	12,2	0,0075	34,25	2114,5	3,15	15,425		2,3005	70	156,49
15	600	827	50	3,14	7,12	6,4	0,0175	32	1098,3	2,1425	16,9		1,7176	78	104,8
16	600	875	0	0,00	0,00	0,25	0,0925	35,25	216,5	1,21	18,4		1,1954	85	150,58

107,0	37,8	19,7	472
109,0	41,5	19,8	364
117,3	47,6	20,0	314
110,7	57,2	20,9	297
116,0	63,0	24,1	960
122,0	61,7	21,3	535
122,3	63,9	21,4	389
101,2	36,3	19,6	524
115,3	55,4	21,1	438
115,3	61,6	23,9	657

Массивы данных, полученные в ходе экспериментальных исследований, представлены в таблицах, графиках и гистограммах. Процесс обработки экспериментальных данных осуществлялся на основе известных методов математической статистики. Для анализируемых параметров определяли следующие статистические показатели

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

	n	Me	n^2	Me^2	$n \cdot Me$	CO	CH	NOx	CO ₂	O ₂
n	1,000									
Me	0,005	1,000								
n^2	0,992	-0,038	1,000							
Me^2	0,026	0,965	-0,019	1,000						
$n \cdot Me$	0,260	0,950	0,214	0,928	1,000					
CO	-0,104	0,594	-0,106	0,648	0,546	1,000				
CH	-0,028	0,673	-0,038	0,750	0,627	0,830	1,000			
NOx	-0,246	0,721	-0,241	0,643	0,584	0,349	0,417	1,000		
CO ₂	0,195	0,875	0,164	0,917	0,888	0,697	0,854	0,635	1,000	
O ₂	-0,080	-0,921	-0,058	-0,920	-0,881	-0,693	-0,809	-0,758	-0,955	1,000

На первом этапе исследований после получения замеров концентрации химических компонентов в ОГ выполнялся корреляционный анализ данных. Приведена матрица коэффициентов корреляции, которая отражает наличие линейных зависимостей замеренных концентраций компонентов ОГ и режимных факторов.

При выполнении регрессионного анализа, для описания изменения концентрации компонентов ОГ в режимной области работы двигателя выбрали, так называемую «полную квадратику». Такое описание имеет следующий вид:

$$KONЦ = a + b \cdot n + c \cdot M_e + d \cdot n^2 + e \cdot M_e^2 + f \cdot n \cdot M_e$$

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

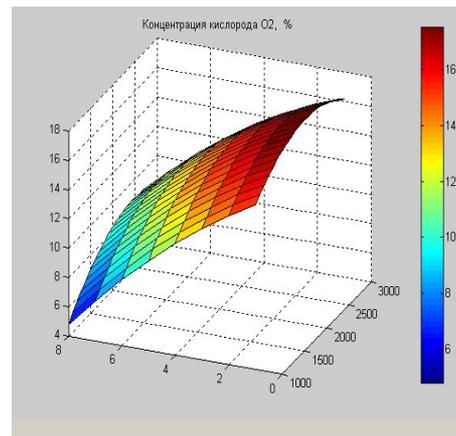
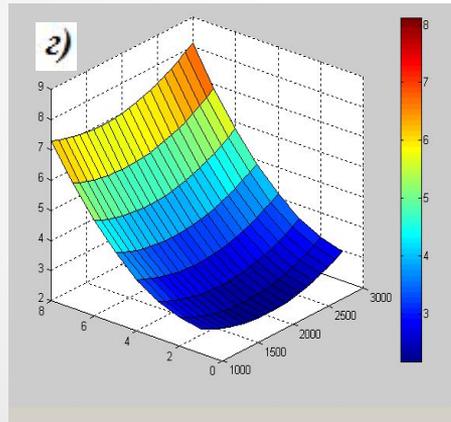
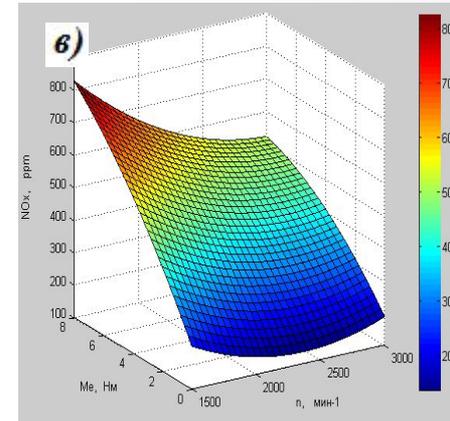
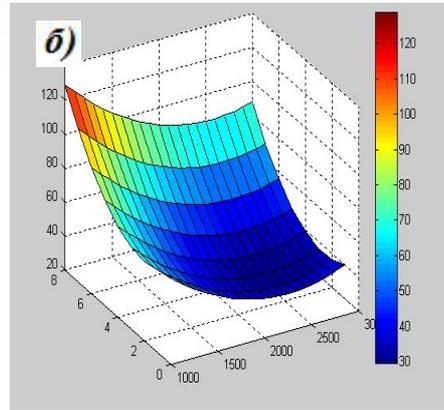
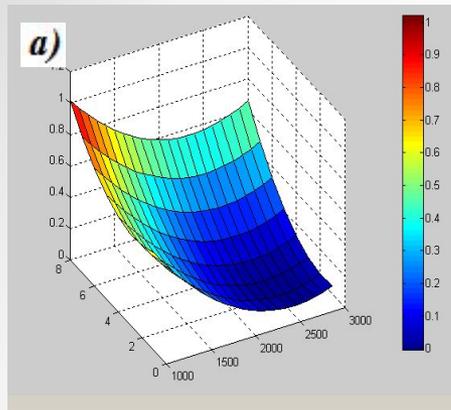


Иллюстрация изменения концентраций компонентов ОГ в режимной области двигателя:

- а) окись углерода CO , %;
- б) углеводороды CH , ppm;
- в) окислы азота NO_x , ppm ;
- г) углекислый газ CO_2 , %;
- д) кислород O_2 , %.

С использованием приведенных в таблице данных в среде программирования MATLAB были построены графики функций $КОИЦ = f(n, M_e)$, которые дают наглядное представление о том, как изменяются концентрации компонентов ОГ в режимной области двигателя

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Анализ характера изменения концентрации компонентов ОГ в режимной области показывает следующее:

* Концентрация токсичного компонента CO изменяется в пределах 0,05 .. 1,12%, что свидетельствует о хорошем сгорании топлива. На режиме номинальной эксплуатационной мощности $C_{CO} = 0,66 \%$. Наибольшая концентрация $C_{CO} = 1,12 \%$ наблюдается при большой нагрузке и минимальных оборотах двигателя.

* У химического компонента CH наблюдается приблизительно такой же характер изменения концентрации как у CO. Концентрация CH в зависимости от режима колеблется в пределах $C_{CH} = 14 \dots 140$ ppm. Наибольший уровень концентрации компонента CH наблюдается на режиме при $n = n_{\min}$ и $Me = Me_{\max}$.

* Концентрация токсичного компонента NO_x изменяется в пределах 250 ... 830 ppm, что является достаточно умеренной концентрацией данного компонента (если сравнивать с другими типами дизелей). Наибольшая концентрация $C_{NOx} = 830$ ppm наблюдается при большой нагрузке и минимальных оборотах двигателя. На режиме номинальной эксплуатационной мощности $C_{NOx} = 550$ ppm.

* Концентрация углекислого газа CO₂ изменяется в зависимости от режима в пределах 0,7 ... 9,5%. Характер изменения концентрации данного компонента вполне очевиден.

* Концентрация кислорода O₂ изменяется в зависимости от режима в пределах 5,8... 20,1%. Характер изменения концентрации данного компонента также вполне очевиден.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ КМ170-ФА И Д-240 ММЗ В ПРОГРАММЕ ДИЗЕЛЬ РК

Диаметр цилиндра D, [мм] 110 Ход поршня S, [мм] 125 Степень сжатия 16
 Число цилиндров ДВС 4 Номинальная частота вращения вала, [об/мин] 1700

Головка (ушка) цилиндра Трение Теплообмен и система охлаждения
 Каменистая сажа Поршень, кольца

Способ вычисления средней температуры поршня (T_{ср_порш})
 По умолчанию
 Задать явно
 Пропорционально температуре головки: T_{ср_порш} = C · T_{ср_гол}
 Расчет КЗ

Материал поршня (головки поршня)
 Сталь Алюминий

Эффективная площадь для расчета утечек через кольца, [м²] 1
 Количество колец в зоне I 3
 Количество колец в зоне II 0

Справка Печать OK Отмена

Характеристика впрыска Энтальпия РМ и НКс Настройка нэт. модели
 Общие параметры Рассчитать **** Камера в поршне

Количество форсунок 1
 Диаметр соловых отверстий, [мм] 0.3
 Коэффициент расхода солов при проливе в атмосферных условиях 0.7
 Количество струй 5
 Все струи идентичны
 Сдвигание распылителя относительно оси КС, S, [мм] 0
 Выступовая точка начала струй от дна камеры, H, [мм] 1.72

Stray #	Beta, [deg]	Alpha, [deg]
#1	0.00	66.30

Справка Печать OK Отмена

Выпускной коллектор Впускные каналы Время сечение выпуска
 Впускной коллектор Впускные каналы Время сечение выпуска

а) б) в) D_m Δ L_p P_p View A D_p D_v

Конструкция
 а) Тандемные
 б) Разветвленные
 в) Одиночный (е)

Число каналов на цилиндр 1
 Длина канала Lp, [мм] 107
 Размеры поперечного сечения входной части канала (вид А)
 Диаметр канала (диаметр эквивалентной трубы) Dp, [мм] 30.7
 Периметр поперечного сечения канала Pp, [мм] 93.9

Клапан и седло
 Задать размеры клапана
 Диаметр стебля клапана, Ds, [мм] по умолчанию
 Диаметр горла клапанного канала, Dt, [мм] по умолчанию
 Диаметр тарелки клапана, Dv, [мм] по умолчанию

Эти размеры используются для оценки диаграммы время-сечения: экспресс-методом и методом расчета через ход клапана.
 Коэф. расхода "Mu" при макс. открытии клапана, использ. в уравн: E_{f_area} = Mu * (3.14/4) * (D² - D_s²) 0.7

Справка Печать OK Отмена

Характеристика впрыска Энтальпия РМ и НКс Настройка нэт. модели
 Общие параметры Рассчитать **** Камера в поршне

Способ задания форы
 Задать по точкам Задать размеры

Каталог форм КС

Топливо и цикловая подача, соответствующая введенной характеристике впрыска, [l] (реальное) Diesel No. 2 0.9517

Способ задания характеристики впрыска
 В виде графика Параметрически

Продолжительность впрыска, [град. ПКВ] 5
 Максимальное давление впрыска, [бар] (для справки) Рассчитать >>>

Регистр #1	Регистр #2	Регистр #3	Регистр #4	Регистр #5	Регистр #6	Регистр #7	P _к [а]
D, [mm]	0.46	0.91	1.36	6.73	12.10	12.46	
D _v , [mm]	15.23	15.24	15.28	15.34	16.22	17.09	17.97

Название КС Ysm2
 Надпоршневой зазор, [мм] 2

Справка Печать OK Отмена

Общие параметры Рассчитать **** Камера в поршне
 Характеристика впрыска Энтальпия РМ и НКс Настройка нэт. модели

График зависимости скорости впрыска от угла поворота коленчатого вала

Справка Печать OK Отмена

Способ расчета рабочего процесса
 Задать цикловую подачу по величине коэф. избытка воздуха
 Вычислять цикловую подачу по величине коэф. избытка воздуха

Способ задания потерь во впускном устройстве (до компрессора)
 Задать явно
 Вычислять по перепаду давлений

Параметры окружающей среды
 Задать явно Переиспользовать, используя скорость и высоту полета
 Задать явно Вычислять по перепаду давлений

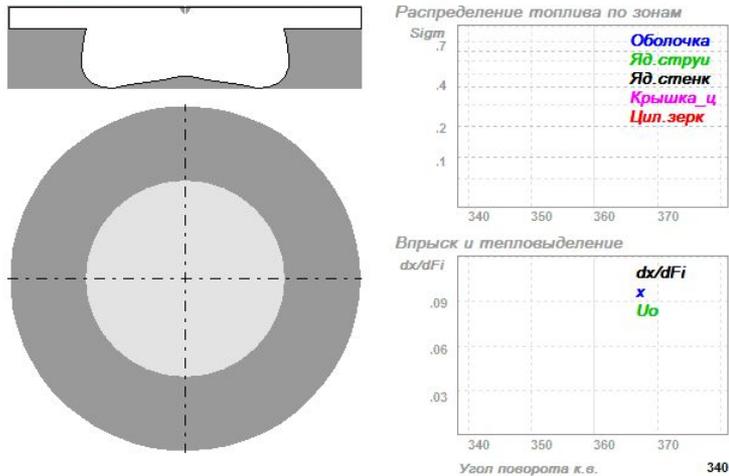
#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
"РМ"-3600	3600								
Частота вращения коленчатого вала, [1/мин]	3600	2500	2000	1500	3600	3600	3600	3600	3600
Коэффициент избытка воздуха при сгорании Alfa	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Угол опережения впрыска/зажигания, [град. до ВМТ]	18.1	20	20	20	20	20	20	20	20
Давление окружающей среды, [бар]	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13
Температура окружающей среды, [K]	288	293	293	293	293	293	293	293	293
Потери давления во впускном устройстве, [бар]	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Потери давления в выхлопной системе, [бар]	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

На первом этапе расчета были заданы основные параметры цилиндро-поршневой группы, топливной аппаратуры, камеры сгорания, количества и расположение отверстий распылителя, характеристика впрыска, и состав используемого топлива

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ КМ170-ФА И Д-240 ММЗ В ПРОГРАММЕ ДИЗЕЛЬ РК

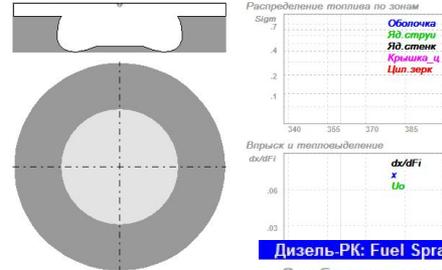
Дизель-РК: Fuel Spray Visualization www.diesel-rk.bmstu.ru

Отображение результатов расчета смесеобразования и сгорания в дизеле
2021-06-02 01-51-37 "D-240 MMZ" ||| Режим: #1 : "RPM=1800"



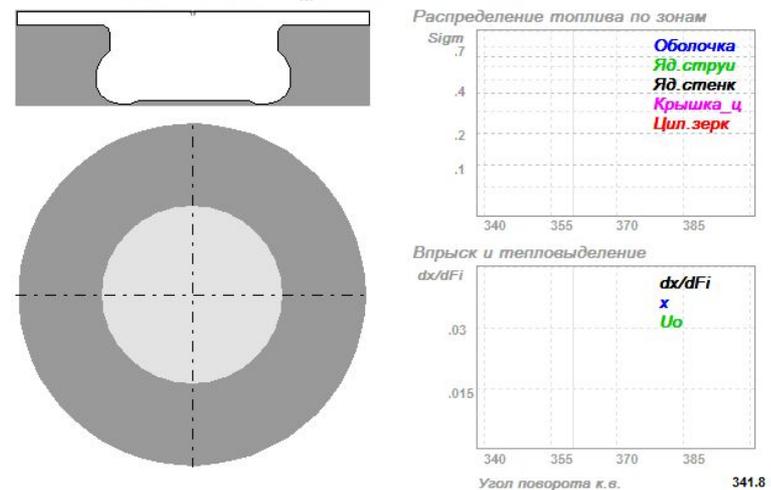
Дизель-РК: Fuel Spray Visualization www.diesel-rk.bmstu.ru

Отображение результатов расчета смесеобразования и сгорания в дизеле
2021-06-02 23-46-36 "D-240 MMZ" ||| Режим: #2 : "RPM=1700 2; "Alpha o"



Дизель-РК: Fuel Spray Visualization www.diesel-rk.bmstu.ru

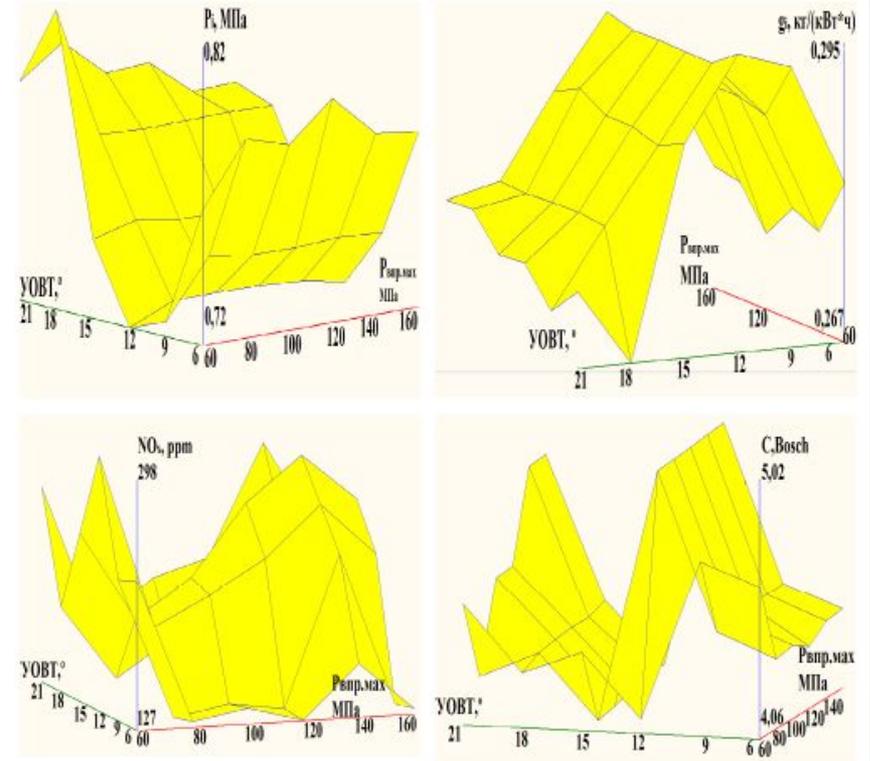
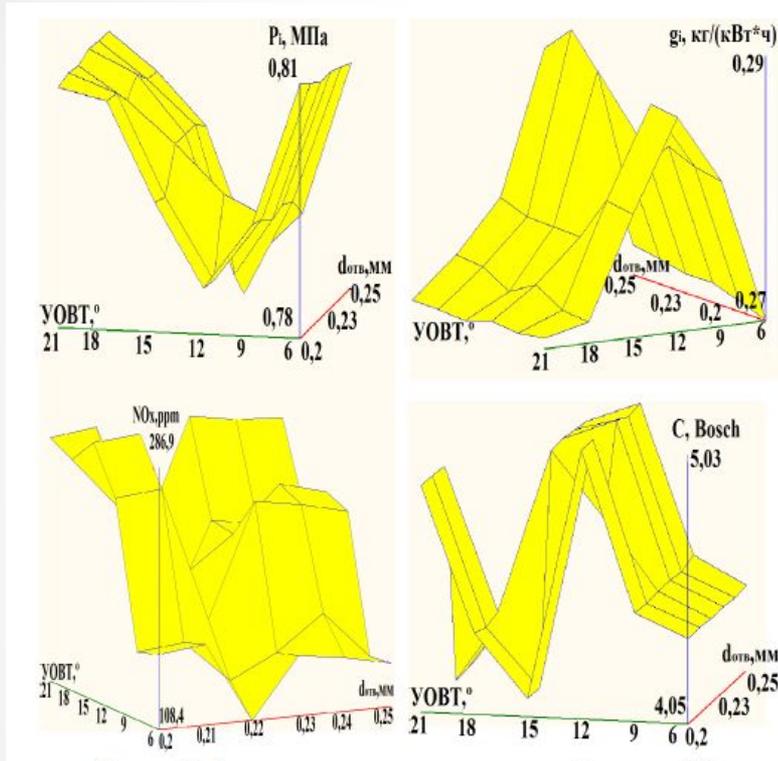
Отображение результатов расчета смесеобразования и сгорания в дизеле
2021-07-01 01-06-50 "KM170FA" ||| Режим: #1 : "RPM=3600"



Согласно ранее описанному плану эксперимента были смоделированы аналогичные режимы для расчета характеристик образования оксидов азота в зависимости от угла опережения впрыска, давления перед форсункой.

В ходе моделирования была рассчитана и визуализирована распространение топливных струй исследуемых двигателей

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ КМ170-ФА И Д-240 ММЗ В ПРОГРАММЕ ДИЗЕЛЬ РК



Изменение диаметра сопловых отверстий и УОВТ

Изменение давления впрыска и УОВТ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы проведен комплекс по созданию и пуско-наладки исследовательского моторного стенда на базе двигателя Д-240, и установка на него различной аппаратуры. Так были разработаны и определены методики проведения исследований для каждого моторного стендов.

На основе данных полученных экспериментальным путем была верифицирована математическая модель расчета РП дизеля (модель сгорания, образования оксидов азота, газообмена т.д.) и исследования возможностей повышения его экономичности и снижения выбросов NO_x с ОГ, позволяющую учитывать конструктивные и регулировочные изменения;

Выполнено расчетно-теоретическое исследование и проведен анализ влияния регулировочных параметров ТПА (угол впрыска топлива (УВТ), количества топлива), в том числе совместно, на показатели дизеля;

На основе анализа результатов численного исследования определены оптимальные значения настроек параметров ТПА, позволяющих обеспечить рациональное сочетание выбросов NO_x и удельного эффективного расхода топлива g_e , и на основе полученных результатов были выданы рекомендации способствующие повышению показателей двигателя.

Таким образом, цель работы достигнута, поставленные задачи выполнены. Направлением дальнейшего развития темы может являться: исследование влияния рециркуляции отработавших газов на экологические и экономические параметры двигателя при работе с однофазным и многофазным впрыском.

**Спасибо за
внимание!**