

ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”

ФАКУЛТЕТ „ИНЖЕНЕРЕН”

Катедра „Корабни силови уредби”

асистент инж. Димитър Петров Попов, гл.механик

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ГОРИВАТА ВЪРХУ
КАЧЕСТВОТО НА ОСТАТЪЧНИТЕ ПРОДУКТИ НА ГОРЕНЕТО,
МОЩНОСТТА И ЕФЕКТИВНАТА РАБОТА НА КОРАБНИТЕ
ДВИГАТЕЛИ**

**Научна специалност
02.03.05 „Корабни силови уредби, машини и механизми”**

**АВТОРЕФЕРАТ
НА
ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД**

за придобиване на образователната и научна степен

„ДОКТОР”

**Научен ръководител:
К-н III ранг, доцент д-р инж. Ивайло Бакалов,**

Рецензенти и становища:
Професор доктор инж. Димитър Йорданов Димитракиев
Доцент доктор инж. Юлиан Николаев Минчев
Професор доктор инж. Тодор Константинов Размов
Професор доктор инж. Димитър Живков Димитров
Професор доктор на т.н. инж. Николай Димитров Минчев

Варна, 2021 г.

Дисертантът работи във ВВМУ „Н.Й. Вапцаров“ и е зачислен в задочна форма на обучение в катедра „Корабни силови уредби“ при Факултет „Инженерен“ на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“.

Изследванията по дисертационния труд са извършени във ВВМУ „Н.Й. Вапцаров“, катедра „Корабни силови уредби“, Лаборатория по КДД – No: 2102

Дисертационният труд е насочен за защита от съвета на 17.09.2021 (Факултет „Инженерен“ при ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“) в съответствие с чл. 5, ал. 1 от ЗРАС.

Автор: ас. инж. Димитър Петров Попов

Заглавие: Изследване на влиянието на горивата върху качеството на остатъчните продукти на горенето, мощността и ефективната работа на корабните двигатели.

Тираж: 10 броя

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност и значимост на дисертационния труд.

Движението на стоки, материали и хора е във фундамента на еволюцията на човека. Всичко това е свързано с потребност от енергия, нови енергоносители и начини за трансформация. Важно място в последните десетилетия заема принципа за икономия на енергия и анализ на екологичните проблеми. Известно, че в областта на транспорта и особено в тежкотоварният широко място заемат дизеловите двигатели, които се характеризират със следното важно предимство - по-голяма икономичност, с повече от 20% от всички останали двигатели. Това е особено важно за корабните двигатели, където мощностите са големи. Тяхната експлоатация се съпровожда със силно замърсяване на околната среда, както и с факта, че използват нискокачествени горива, така и с отделяните големи количества екологични замърсители, обусловени от големите мощности на двигателите.

Работата по дисертационната тема е наложена и от конвенцията MARPOL – Анекс VI, която налага понижаване на емисиите азотни оксиди на главни и спомагателни двигатели с вътрешно горене с повече от 75%. Непрекъснатото повишаване на изискванията към състава на отработени газове, налага изследване и усъвършенстване на експлоатацията на ДВГ, а в нашият случай сме предложили алтернативен метод, чрез предварителна обработка на горивото преди изгарянето му в двигателя. В научната сфера няма изследвания по отношение на влиянието на обработеното горивото с AnStoTex устройство върху ефективността на работата на корабните дизелови двигатели и техните екологични показатели.

2. Цел и задачи на изследването.

Въз основа на осъществения анализ, оценката на състоянието на проблема, целта на дисертацията е формулирана както следва: **Изследване на влиянието на горивата върху качеството на остатъчните продукти на горенето, мощността и ефективната работа на корабните двигатели.** За постигане на целта са решени следните основни задачи:

1. Обзор на съществуващите корабни горива и техните особености, свързани с приложението им в дизеловите двигатели;

2. Създаване на изпитателен стенд, с възможности за провеждане на експерименти. Избор на подходяща измервателна и регистрираща апаратура за набиране на необходимата за изследването информация;
3. Избор на метод и реализиращ го алгоритъм за оценка влиянието на качествата на дизеловите горива върху механичните и екологични характеристики на дизеловите двигатели;
4. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и DO+AnStoTech, върху механичните и екологични характеристики на корабен дизелов двигател SKL 3NVD24;
5. Количествен анализ на влияние на дизеловите горива DO и DO+AnStoTech, върху механичните и екологични характеристики на корабен дизелов двигател SKL 3NVD24;

• **Обект и място на изследването**

Предвид експерименталната насоченост на изследванията с КДД SKL 3NVD24 същите са проведени на територията на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, в катедра „Корабни силови уредби”, лаборатория КДД No.102.

3. Методи на изследването

Методиката на изследването в дисертационния труд е комплексна. Технологиата на изследването обхваща два етапа:

- първият етап се състои в провеждане на експерименти за набиране на подходяща информация, обработка на същата с подходящи математични методи и получаване на качествени математически модели;
- на втория етап същите се използват за оценка на влиянието на вида на горивото върху качеството на остатъчните продукти на горенето, мощността и ефективната работа;

Проведени са 10 броя експерименти при изменение на натоварването на двигателя и определен тип гориво. Поради факта, че се налага сравнение на експериментални данни и резултати от моделни изследвания, проведени със същите, наложително е избраният математически апарат да гарантира високо качество на резултатите от моделирането. Това предполага добра база за добър количествен анализ и оценка на различните типове горива и

тяхната обработка върху механичните характеристики на дизеловия двигател.

4. Практическа приложимост

Получените математически модели, формулираните констатации и изводи са приложими в дейността на научноизследователските центрове и проектантски бюра, за специализирано обучение и в учебния процес.

Възможно е практическо приложение за обработване с AnStoTex устройство на дизелово и мазутно гориво в системите на корабните двигатели.

5. Аprobация

По темата на дисертационния труд са тиражирани една авторска и една съавторска публикации в изданията на международни конференции.

6. Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е структуриран както следва: Увод, Глава I, Глава II, Глава III, Изводи, Приноси и Приложения.

Съдържанието е изложено в 130 страници, в т. ч. 94 фигури, 28 таблици и библиография от 83 заглавия, от които 49 на кирилица и 34 на латиница.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Въведение.

В дисертационния труд се разглеждат проблеми, свързани с експлоатацията на съвременни корабни двигатели с вътрешно горене. Изследват се връзките между качеството на използваното гориво и неговото влияние върху качеството на остатъчните продукти от горенето, мощността и ефективната работа на корабните двигатели. Предлаганата дисертация разглежда една задача за анализ и оценка на качествата на съществуващите дизелови горива. Оценка на възможностите на подобрители на структурата, чрез молекулярния състав и структура на горивото от гледна точка на повишаване на качеството на горивния процес и като следствие влияние върху механичните и екологични характеристики на дизеловите двигатели

Глава I. Състояние на проблема. Цел и задачи на дисертацията.

Състоянието на анализирания проблем проследява трите му основни компонента: екологичен аспект, методи и средства за измерване на технологични величини и приложни аспекти на математическото моделиране. Независимо от предимствата си, дизеловите двигатели имат и съществени недостатъци, основен сред които е замърсяването на околната среда – проблем, пряко свързан с жизнената среда и търсенето на решения за ограничаването му в световен мащаб.

В тази глава се разглеждат основните компоненти, които изграждат тестваните от нас горива, структурата на основните въглеводороди и структурата на горивото. Основна тема в тази глава е и настоящият стандарт за корабни горива по БДС ISO 8217. Стандартът обхваща две групи корабни горива - дестилатни горива и остатъчни горива – т.н. мазут. В нашия случай, интерес представляват само онези течни горива, които се използват на борда на кораба. Те могат да бъдат разделени в три групи - корабен газьол, корабни дизелови горива и корабни остатъчни горива - мазути. Всяко от тях е смес от съединения, които са продукти от процеса на рафиниране.

Във връзка с изследване на влиянието на горивата върху качеството на остатъчните продукти на горенето, механичните и екологични характеристики и ефективната работа на корабните двигатели, обект на изпитването е корабен дизелов четиритактов двигател SKL 3NVD24.

Корабният дизелов четиритактов двигател SKL 3NVD24 има следните по-важни параметри и показатели:

Технически характеристики:

1. Означение: 3NVD24;
2. Брой на цилиндри – 3;
3. Способ на работа – четиритактов;
4. Направление на въртене – дясно;
5. Диаметър на цилиндъра – 175 мм.
6. Ход на буталото – 240 мм.

7. Номинална мощност при 600 (min^{-1}) – 44,1 kW (60 bhp)
8. Работен обем на цилиндъра – 5,76 (dm^3);
9. Максимални обороти – 600 (min^{-1});
10. Минимални обороти – 300 (min^{-1});
11. Средно ефективно налягане – 0,52 (MPa);
12. Степен на сгъстяване – 11,85
13. Средна скорост на буталото – 4,8 (m/s).

По време на изследванията бяха снети индикаторни диаграми, отчетен беше разхода на гориво при различни натоварвания, както и направен количествен и качествен анализ на изгорелите газове.

За индициране на двигателя, снемане на основни показатели и индикаторни диаграми е използван електронен индикатор MIP Diesel Score COMRAS. В допълнение на щатните измервателни прибори, използвани за следене на нормалната работа на експерименталната уредба, при анализирането на двигателя е използван съвремен прибор за анализ на изходящите газове. Това е газ-анализатор Dräger MSI EM200 фиг.(1). Уреда е проверен съгласно Европейски стандарти EN 50379-1 и EN50379-2. Уреда MSI EM200 е сертифициран и одобрен за официални измервания.



фиг. 1. Dräger MSI EM200.

Двигателят е тестван под различни режими на натоварване. Снети са товарни характеристики. Първоначално двигателя използва стандартно дизелово гориво, след което експеримента е повторен, но след обработка на горивото с AnStoTech устройство. Целта на сравнителните изпитвания е да се определят в стендови условия стойностите на мощностните (ефективна мощност – P_{ef}), икономичните показатели (часов разход на гориво – Bh , специфичен разход на гориво - SFOC) и екологичните

показатели (съдържание на въглероден окис – CO , въглероден двуокис – CO_2 , азотен окис – NO , азотни окиси – NO_x и кислород – O_2). Въз основа на получените резултати са направени количествен и качествен анализ за влиянието на стандартно дизелово гориво обработено с AnStoTech върху горивния процес и отработените газове.

AnStoTech устройството (фиг.2) е произведено от фирма „АнСтоТех“ООД и представлява кух метален проточен цилиндричен корпус, в чиито отвор по дължина поставен конструктивен елемент, предизвикващ пасивна обработка на течностите, преминали през цилиндричния корпус. От външната страна на тръбата са разположени неодимови магнити. Поради специалната си конструкция в потока гориво се генерират нискочестотни колебания в диапазона на 40-400 Hz. Високочестотните вълни са в ултразвуковия диапазон. В резултат на това се получава деклъстеризиране на молекулярно ниво, намаляване на повърхностното напрежение, понижаване на вискозитета на горивото и хомогенизиране.



Фиг.2. AnStoTech устройство.

Глава II. Изследване на влиянието на дизелови горива DO и $DO+AnStoTech$, върху механичните характеристики на корабен дизелов двигател $SKL 3NVD24$.

Технологията на изследването обхваща два етапа: първият етап се състои в провеждане на експерименти за набиране на подходяща информация, обработка на същата с подходящи математични методи и получаване на качествени математически модели; на втория етап същите се използват за оценка на влиянието на вида на горивото. проведени 10 броя експерименти при изменение на натоварването на двигателя и определен тип гориво. Поради факта, че се налага сравнение на експериментални данни и резултати от моделни изследвания, проведени със същите, наложително е избраният математически апарат да гарантира високо качество на резултатите от моделирането. Това предполага добра база за добър количествен анализ и оценка на различните типове горива и тяхната обработка върху механичните характеристики на дизеловия двигател. От анализа на работата на двигателя следва, че влиянието на

фактора натоварване върху механичните характеристики е непрекъсната гладка функция, което позволява използване на Регресионен анализ, включващ: обработка на експерименталните данни по Метода на най-малките квадрати и статистически анализ на резултатите, включващ проверка на направените предположения за прилагането му: сумата от грешките да бъде нула; същите да бъдат некорелирани; с нормално разпределение на плътността и отсъствие на нестационарност (хомоскедастичност). Връзката между фактора и целевата функция да бъде с коефициент на корелация R_{xy} по-голям от 0,5. Неудовлетворяването на предположенията за прилагане на Регресионния анализ е свързано с качеството на коефициентите на получените математични модели.

В следващото изложение се предлагат два типа модели от изследванията: точен, удовлетворяващ цялостната процедура по прилагане на Регресионния анализ и опростени, които са получени само по МНМК. Причината за тяхното разглеждане е в това, че са прости и в същия момент удовлетворяват изискването за адекватност, малка грешка между експерименталните данни и апроксимиращата ги характеристика, и са с голям коефициент на корелация между фактора и целевата функция R_{xy} .

От множеството модели най-добри са тези, които са: адекватни, с минимална стандартна грешка S_Y и с максимален коефициент R_{xy} на Пирсън и удовлетворяване на условията за прилагане на РА.

2.1. Изследване влиянието на натоварването G (кг) на изхода вала на двигателя, върху механичните и топлинни характеристики при използване на гориво DO.

Използвани са данни от лабораторни изпитания, дадени в следната таблица (Табл.1):

Табл. 1. Експериментални данни с дизелово гориво DO.

	Фактор	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция
No	x	y1	y2	y3	y4	y5
	G	P ef.	SFOC	T exh.g.	n	Bh
	kg	kW	g/kWh	C	rpm	g/h
1	0	0.00		131.1	505.9	3126.3
2	1.8	3.49	1024.8	160	503.9	3578.3
3	3.5	6.76	618.6	190	501.9	4183.1
4	5.5	10.58	467.7	221.4	499.9	4950.0
5	7.5	14.37	382.8	250	497.6	5500.0
6	9.5	18.11	334.6	278	495.3	6061.2
7	11.5	21.83	309.3	308.2	493	6750.0
8	13.8	26.07	284.8	341	490.7	7425.0
9	16	30.08	274.2	375	488.4	8250.0
10	18.5	34.62	260.0	408.3	486.1	9000.0

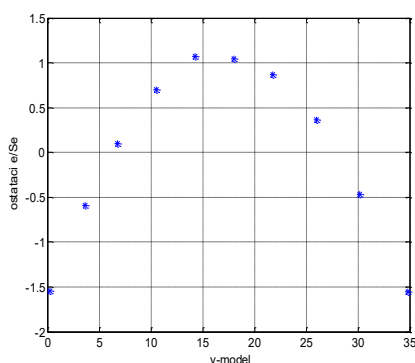
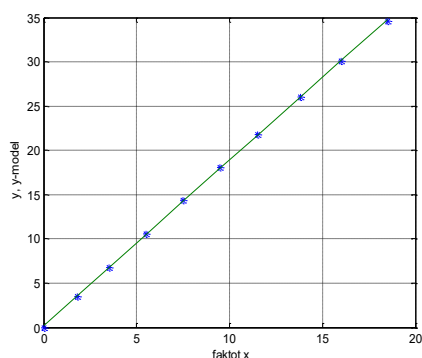
Направените изследвания и последващите изводи са дадени в табличен вид (Табл.2.1.), включващ: вид на модела; резултати от проверка на качествата на модела чрез адекватност, минимална стандартна грешка SY, стойност на коефициента на корелация R_{yx}, както и проверка на условията за прилагане на РА. За универсалност в записите във всички таблици, следващи изложението, с x са означени стойностите на фактора натоварване G, а с y целевите функции.

2.1.1. Изследване влиянието на натоварването G (кг) на изхода вала на двигателя, върху ефективната мощност на същия, P_{ef} (kW)

Таблица 2.1. Резултати от изследване влиянието на натоварването върху P_{ef}, при използване на DO

P _{ef} .						
Модел	Адекватност	Стандартна грешка SY	Проверка за нормалност по кр. Жак-Бера	Хомоскедастичност по критерия на Глейзер	R _{yx} на Пирсън	ПРОБЕРКА за корелация по критерия на Дърбин-Уотсън
$\hat{y} = 0.1974 + 1.8714 * x$	Fem= 65741.55 F(0.05;1;8)=5.32 Извод: да	0.13573	JВem= 0.9706 JВт(0.05;2) = 5.99 Извод: нормално разпределение	$\alpha=0.05$ FFem = 0.0329 Ft(0.05;1;8)= 5.32 Извод: да	0.99994	d = 0.44851 alfa=5%; dL= 0.879, dU= 1.32 0<d<dL Извод: положителна автокорелация
$\hat{y} = 0.0047 + 1.9436 * x - 0.0040 * x^2$	Fem=9852574 F(0.05;2;7)=4.74 Извод: да	0.0078401	JВem =0.3832 JВт(0.05;2) = 5.99 Извод: нормално разпределение	FFem = 5.2077 Ft(0.05;1;8)=5.32 Извод: да	1	d=1.7546 alfa=5%; dL= 0.879, dU= 1.32 dU<d<4-dU=2.68 Извод: липсва автокорелация

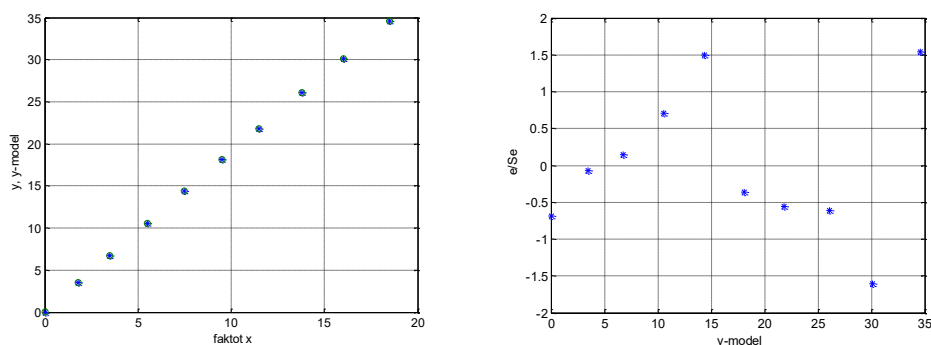
По долу са дадени линейният характер, по първия модел, на зависимостта y(x) (*) и y_{model} (-), по уравнението на модела и нормираната (Стюдентизирана) грешка. Последната има нелинеен вид и показва, че независимо, че коефициента на корелация R_{yx}=0.99994 е голям, Регресионната зависимост свързваща натоварването G и ефективната мощност на същия, P_{ef} (kW) има нелинеен характер, уравнение от втори ред.



Фигури 2.1.

Резултати от линеен модел

Резултатите от получен нелинеен модел от втори ред са дадени във втория ред на таблица 2.1, а по-долу, фиг. 2.2 вида на зависимостта на експерименталните данни (*) и тази по нелинейния модел (o). На фигурата точките са една върху друга, макар и слаба нелинейност, такава съществува. Коефициентът на корелация на Пирсън $R_{yx}=1$, което означава, че връзката е функционална. Тук зависимостта на нормираната грешка e/Se има случаен характер и не показва промяна в характер на математичния модел.



Фигури 2.2 Резултати от нелинеен модел

Извод: Приема се, че този регресионен модел от втори ред описва възможно с най-голяма точност връзката между натоварването G и P_{ef} , и има вида:

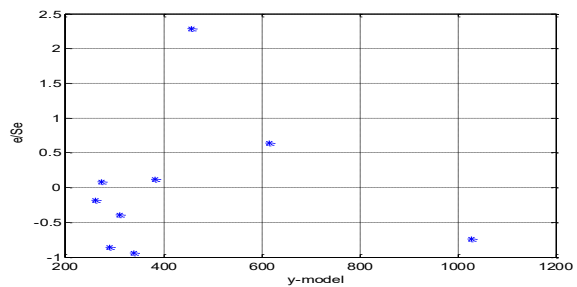
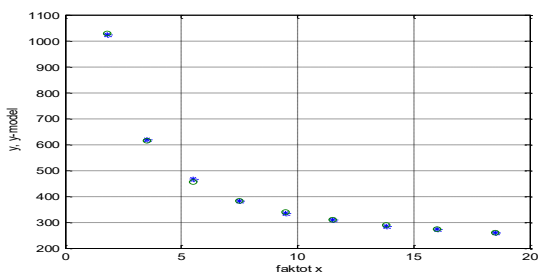
$$P_{ef} = 0.0047 + 1.9436 * G - 0.0040 * G^2 \quad (2.1)$$

2.1.2. Изследване на влиянието на натоварването G (kg), върху специфичния разход на гориво SFOC (g/kWh)

Обработвани са 9 комплекта от данни, аналогично на глава 2.1.1. Поради използването на относителни единици, следствие на което има деление на нула за първата стойност. Резултатите са дадени в табличен (Таб.2.2.) и графичен вид (Фиг.2.2.).

Таблица 2.2. Резултати от изследване влиянието на натоварването върху *SFOC*

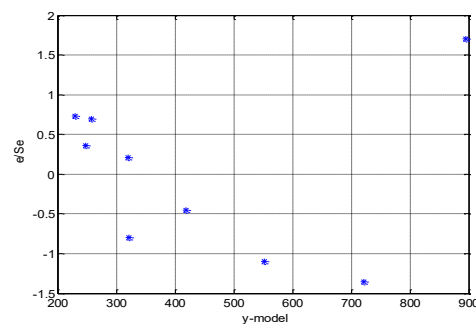
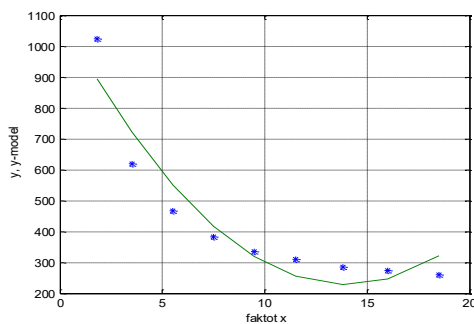
SFOC						
Модел	Адекватност	Стандар тна грешка SY	Проверка за нормалност по кр. Жак- Бера	Хомоскедаст ичност по критерия на Глейзер	Рух на Пирсъ н	ПРОВЕРКА за корелация по критерия на Дърбин-Уотсън
$\hat{y} = 178.1 + 1530.6 / x$	Fem= 17572.37 F(0.05;1;8)=5.59 Извод: да	5.2801	JВem = 3.1656 JBт(0.05;2) = 5.99 Извод: нормално разпределение	FFem = 1.7158 Ft(0.05;1;8)= 5.59 Извод: да	0.9998	d = 1.4864 1alfa=5%; dL= 0.824 dU= 1.32 dU<d<4-dU=2.68 Извод: липсва автокорелация
$\hat{y} = 1106.3 - 125.6 * x + 4.50 * x^2$	Fem= 28.7165 F(0.05;2;7)=4.74 Извод: да	87.8987	JВem= 0.4103 JBт(0.05;2) = 5.99 Извод: нормално разпределение	FFem= 4.9029 Ft(0.05;1;8)= 5.59 Извод: да	0.9515 3	d = 1.5023 1alfa=5%; dL= 0.824 dU= 1.32 dU<d<4-dU=2.68 Извод: липсва автокорелация



Фигури 2.3. Резултати от хиперболичен модел

Моделът, който дава регресионната зависимост между натоварването на вала на двигателя и специфичния разход на гориво *SFOC* (g/kWh) има вида:

$$\widehat{SFOC} = 178.1 + 1530.6 / G \quad (2.2)$$



Фигури 2.4. Резултати от параболичен модел

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя и специфичния разход на гориво, се приема Регресионен модел от хиперболичен тип:

$$\widehat{SFOC} = 178.1 + 1530.6 / G.$$

2.1.3. Изследване влиянието на натоварването G (kg), върху средната температура на изгорелите газове $T_{exh.g}$ ($^{\circ}C$)

Обработвани са 10 комплекта от данни. Резултатите са дадени в табличен и графичен вид.

Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и средната температура на изходящите газове $T_{exh.g}$, ($^{\circ}C$). Същият има вида (2. 3),

$$\widehat{T_{exh.g}} = 132.1713 + 16.1848 * G - 0.0687 * G^2 \quad (2.3)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G и средната температура на изходящите газове $T_{exh.g}$ се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен с много добра точност и удовлетворява всички условия за прилагане на Регресионния анализ.

2.1.4. Изследване влиянието на натоварването G (kg), върху честотата на въртене n (rpm)

Обработвани са 10 комплекта от данни от регистрацията на натоварването на двигателя и изменението на честотата на въртене. Резултатите са дадени в табличен и графичен вид.

Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и честотата на въртене n . Същият има вида (2. 4),

$$\widehat{n} = 505.98 - 1.1674 * G + 0.0046 * G^2 \quad (2.4)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G и честотата на въртене n се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен с много добра точност и удовлетворява всички условия за прилагане на Регресионния анализ.

2.1.5. Изследване влиянието на натоварването G (kg), върху часовия разход на гориво B_h , (g/h).

Обработвани са 10 комплекта от данни от регистрацията на натоварването на двигателя и консумираното гориво в (g/h). Резултатите от изследването са дадени в табличен и графичен вид.

Регресионната зависимост свързваща натоварването G и консумацията

(g/h) е качествен модел и може да се използва за анализ и изследователска дейност. Последният има вида (2.5)

$$\widehat{Bh} = 3084.9 + 319.3 \cdot G \quad (2.5)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G (kg), и консумацията на гориво Bh (g/h) се приема линеен математичен модел. Същият е адекватен с много добра точност и удовлетворява всички условия за прилагане на Регресионния анализ при определянето му. Случайното разпределение на Стюдентизираната грешка показва правилно избрана структура на модела и не се налага да се търси друга.

2.2. Изследване влиянието на натоварването G (кг) на изхода вала на двигателя, върху механичните характеристики при използване на гориво *DO+AnStoTech*.

Направените изследвания в този раздел като приложна методология повтарят тези от предния раздел 2.1. Търсят се качествени модели свързващи променливите, целеви функции *Pef.*, *SFOS*, *Texh.g.*, n и Bh с фактора натоварване на вала на двигателя G . Използвани са данни от лабораторни изпитания, дадени в следната таблица:

	Фактор	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция
No	x	y ₁	y ₂	y ₃	y ₄	y ₅
	G	P ef. Load	SFOC	T exh.g.	n	Bh
	kg	kW	g/kWh	С	rpm	g/h
1	0	0.00		126	503.8	2454.5
2	1.6	3.09	906.1	150	502	2801.9
3	3.2	6.16	529.9	173	500	3263.7
4	4.8	9.22	423.6	197	499.2	3907.9
5	7	13.39	331.1	221	496.8	4432.8
6	9.2	17.51	287.5	246	494.4	5033.9
7	11.5	21.78	267.4	271	492	5823.5
8	13.5	25.43	253.8	310	489.4	6456.5
9	15.5	29.05	249.4	346	486.8	7243.9
10	17.5	32.62	252.9	380	484.2	8250.0

2.2.1. Изследване на влиянието на натоварването G (kg), върху *Pef* (kW), при използване на обработено гориво *DO+AnStoTech*.

Поради повтарящата се методология от раздел 2.1. ще наблегнем на получените резултати от математическите модели и на направените изводи. Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и *Pef*, (kW) има вида (2. 6),

$$\widehat{P_{ef}} = -0.0136 + 1.9484 * G - 0.0047 * G^2 \quad (2.6)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G (kg) и P_{ef} (kW), при използване на обработено гориво *DO+AnStoTech* се приема регресионен математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен и с много добра точност.

2.2.2. Изследване на влиянието на натоварването G (kg), върху специфичния разход на гориво $SFOC$ (g/kWh), при използване на обработено гориво *DO+AnStoTech*.

Сравнителният анализ на двата модела хиперболичен и параболичен показва, че и двата са адекватни. Хиперболичният модел обаче е по-точен, с приблизително 10 пъти с по-малка стандартна грешка S_Y и по-голям коефициент на корелация на Пирсон, което е основание същият да бъде избран за като Регресионен модел на връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и специфичния разход на гориво $SFOC$ (g/kWh). Същият има вида (2.2)

$$\widehat{SFOC} = 170.1 + 1173.1 / G \quad (2.7)$$

С данните е направен опит с прилагане на експоненциална функция, за апроксимация, резултатите от които се оказаха най-лоши: $S_y = 118.9004$; $R_{yx} = 0.65594$ и не са дадени в таблицата.

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя и специфичния разход на гориво, се приема Регресионен модел от хиперболичен тип $\widehat{SFOC} = 170.1 + 1173.1 / G$.

2.2.3. Изследване влиянието на натоварването G (kg), върху средната температура на изгорелите газове $T_{exh.g}$ (°C), при обработено гориво *DO+AnStoTech*.

Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и средната температура на изходящите газове $T_{exh.g}$, (°C) има вида (2. 8),

$$\widehat{T_{exh.g}} = 132.0612 + 11.0614 * G + 0.1673 * G^2 \quad (2.8)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G и средната температура на изходящите газове $T_{exh.g}$ се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен с много добра точност и удовлетворяват условията за прилагане на Регресионния анализ.

2.2.4. Изследване влиянието на натоварването G (kg), върху честотата на въртене n (rpm), при обработено гориво $DO+AnStoTech$.

Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и честотата на въртене n има вида (2. 9),

$$\hat{n} = 503.4876 - 0.8661 * G - 0.0133 * G^2 \quad (2.9)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G и честотата на въртене n се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен с много добра точност и удовлетворява всички условия за прилагане на Регресионния анализ.

2.2.5. Изследване влиянието на натоварването G (kg), върху часовия разход на гориво Bh (g/h) при обработено гориво $DO+AnStoTech$.

Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и консумацията на гориво Bh (g/h) има вида:

$$\widehat{Bh} = 2481.9 + 235.4 * G + 5 * G^2 \quad (2.10)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G (kg), и консумацията на гориво Bh (g/h) при обработено гориво $DO+AnStoTech$ се приема параболичен математичен модел. Същият е адекватен с много добра точност и удовлетворява всички условия за прилагане на Регресионния анализ при определянето му. Случайното разпределение на Стюдентизираната грешка показва правилно избрана структура на модела и не се налага да се търси друга..

2.3. Количествен анализ за влияние на дизеловите горива DO и $DO+AnStoTech$, върху механичните характеристики на корабен дизелов двигател $SKL 3NVD24$.

Алгоритъм на изследването:

- Провеждане на научно търсене и създаване на качествени, адекватни математически модели на характеристиките на двигателя, подлежащи на сравнение, от типа „причина – следствие”, при използване на двата вида гориво. Използват се експериментално снети данни;
- Използвайки адекватните математически модели на зависимостите на характеристиките на двигателя от натоварването G , при DO и $AnStoTech$, се генерират изходи като реакция на същите;

- Пресмята се грешката между двете реакции и се определя значимостта на грешката спрямо точността на сметите експериментални данни;
- Приема се, че разликата между двете реакции е съществена и се дължи на втория вид гориво, ако тя превъзхожда грешката на експеримента. В противен случай се приема, че грешката между двете реакции е съизмерима с грешката на експеримента и отсъства значимо влияние на обработеното гориво.

2.3.1. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и DO+AnStoTech върху ефективната мощност P_{ef} (kW).

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво *DO* (2.1) и при *DO+AnStoTech* (2.6) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G (kg) върху ефективните мощности P_{ef1} (kW) и P_{ef2} (kW). Експериментите са проведени в Лаборатория КДД No: 102, катедра „Корабни силови уредби“, на територията на ВВМУ „Н.Й. Вапцаров“.

$$\widehat{P_{ef1}} = 0.0047 + 1.9436 * G - 0.0040 * G^2 \quad (2.1)$$

$$\widehat{P_{ef2}} = -0.0136 + 1.9484 * G - 0.0047 * G^2 \quad (2.6)$$

По уравненията, при изменение на натоварването в диапазона $G = [0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18]$, представляващ изследователски интерес са получени стойностите за P_{ef1} и P_{ef2} , дадени като вектор редове:

$P_{ef1} = [0.004 \ 3.875 \ 7.715 \ 11.522 \ 15.297 \ 19.040 \ 22.751 \ 26.431 \ 30.078 \ 33.693];$

$P_{ef2} = [0 \ 3.8644 \ 7.7048 \ 11.5076 \ 15.2728 \ 19.0004 \ 22.6904 \ 26.3428 \ 29.9576 \ 33.5348];$

Грешката между двете предсказани стойности $P_{ef_e} = P_{ef1} - P_{ef2}$ е

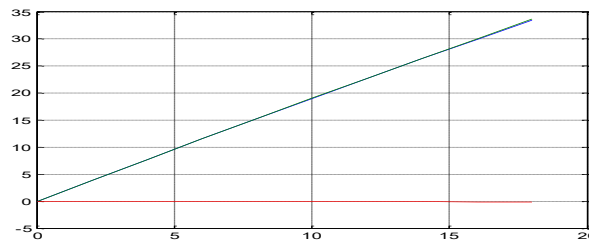
$P_{ef_e} = [0.0183 \ 0.0115 \ 0.0103 \ 0.0147 \ 0.0247 \ 0.0403 \ 0.0615 \ 0.0883 \ 0.1207 \ 0.1587];$

Относителната грешка, която се допуска между двата процеса в проценти е $P_{e_e} = (P_{ef_e} / P_{ef1}) * 100$

$P_{ef_e}\% = [0.2967 \ 0.1335 \ 0.1276 \ 0.1615 \ 0.2117 \ 0.2703 \ 0.3341 \ 0.4013 \ 0.4710];$

Вижда се, че максималната грешка, която се допуска е 0.471 %, при максимално натоварване. При условие, че грешката, с която се снемат експерименталните данни е 5% , може да се приеме, че разликата между ефективните мощности P_{ef1} и P_{ef2} е под на грешката от експеримента.

На фигура 2.18 са дадени предсказаните по моделите стойности на Pef1 и Pef2, които почти съвпадат и грешката между тях.



Фиг. 2.18. Pef1 и Pef2, и грешката Pef_e

Извод: Влиянието на дизелово гориво *DO+AnStoTech* върху ефективната мощност в сравнение с дизелово гориво **DO** е в рамките на грешката на експеримента и не може да се приеме като значимо.

2.3.2. Изследване на влиянието на дизеловите горива **DO** и **DO+AnStoTech** върху специфичния разход на гориво SFOC (g/kWh).

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 9 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво *DO* (2.2) и при *DO+AnStoTech* (2.7) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването *G* (kg) върху специфичния разход на гориво SFOC1 и SFOC2. Експериментите са проведени както в т.1. Използваните модели имат вида:

$$\widehat{SFOC1} = 178.1 + 1530.6 / G \quad (2.2)$$

$$\widehat{SFOC2} = 170.1 + 1173.1 / G \quad (2.7)$$

По уравненията и дадените стойности на натоварването на вала на двигателя *G* (кг) са направени пресмятания за предсказаните целеви функции SFOC1 (g/kWh) и SFOC2 (g/kWh), дадени като транспонирани вектори,

SFOC1 = [943.4 560.75 433.2 369.425 331.16 305.65 287.4286 273.7625 263.1333];

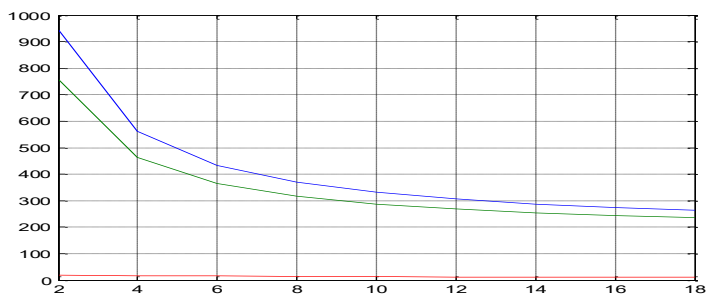
SFOC2 = [756.65 463.375 365.6167 316.7375 287.41 267.8583 253.8929 243.4187 235.2722];

Разликата между тях формира вектора на грешката, дадена като транспониран вектор

SFOC_e = SFOC1 - SFOC2 = [186.75 97.37 67.58 52.68 43.75 37.79 33.53 30.34 27.86];

На фиг. 2 са показани предсказаните специфични разходи SFOC1, SFOC2 и грешката SFOC_e между тях. Вижда се голямата разлика между тях,

дължаща се на значителното влияние на AnStoTech върху специфичния разход на гориво SFOC2 (долната крива).



Фиг.2.19 SFOC1, SFOC2 и грешката SFOC_e

Грешката, която се допуска между реакции в проценти е

$$SFOC_e\% = (SFOC_e / SFOC1) * 100,$$

$$SFOC_e\% = [19.795 \ 17.365 \ 15.601 \ 14.262 \ 13.211 \ 12.364 \ 11.667 \ 11.084 \ 10.588];$$

Относителната грешка между специфичния разход на гориво SFOC (g/kWh) от дизеловия двигател при използване на гориво и DO и обработено, т.е. *DO+AnStoTech*, е значително по-голяма от грешката, с която са снети експерименталните данни. Същата зависи от натоварването на двигателя и се променя съгласно уравнение SFOC_e %, като намалява с нарастване на натоварването G. Има максимална стойност при минимално натоварване.

Извод: Влиянието на *DO+AnStoTech* върху SFOC (g/kWh) е 10.6%- 19.8%, значително превъзхожда грешката на експеримента. Следователно обработката на горивото с *AnStoTech* значимо влияе върху върху специфичния разход на гориво SFOC (g/kWh).

2.3.3. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и DO+AnStoTech върху средната температура на изходящите газове Texh (°C).

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво *DO* (2.3) и при *DO+AnStoTech* (2.8) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G (kg) върху средните температури на изгорелите газове Texh1 (°C) и Texh2 (°C),

$$\widehat{Texh1} = 132.1713 + 16.1848 * G - 0.0687 * G^2 \quad (2.3)$$

$$\widehat{Texh2} = 132.0612 + 11.0614 * G + 0.1673 * G^2 \quad (2.8)$$

По уравненията и дадените стойности на натоварването на вала на двигателя G са направени пресмятания за предсказаните целеви функции T_{exh1} и T_{exh2} , дадени като транспонирани вектори,

$T_{exh1} = [132.17 \ 164.26 \ 195.81 \ 226.80 \ 257.25 \ 287.14 \ 316.49 \ 345.29 \ 373.54 \ 401.23];$

$T_{exh2} = [132.06 \ 154.85 \ 178.98 \ 204.45 \ 231.25 \ 259.40 \ 288.88 \ 319.71 \ 351.87 \ 385.37];$

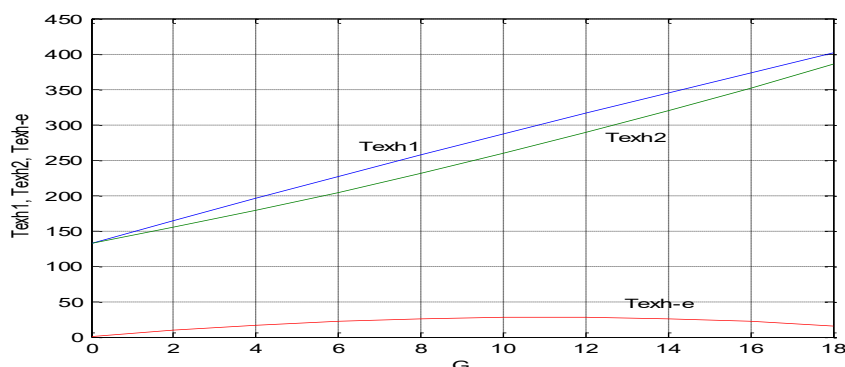
Разликата между тях формира вектора на грешката между температурите, дадена в транспониран вид:

$T_{exh_e} = [0.11 \ 9.412 \ 16.827 \ 22.354 \ 25.993 \ 27.744 \ 27.606 \ 25.581 \ 21.668 \ 15.867];$

Относителната грешка в проценти, в зависимост от натоварването на вала на двигателя G (kg), определена по уравнението $T_{exh_e}\% = (T_{exh_e}/T_{exh1}) * 100$, е:

$T_{exh_e}\% = [0.0833, 5.7303, 8.5938, 9.8562, 10.1042, 9.6619, 8.7227, 7.4087, 5.8008, 3.9546];$

На фиг. 2.20 са показани средните температури, дължащи се на гориво DO , T_{exh1} и на дизеловото гориво $DO+AnStoTech$, T_{exh2} и грешката T_{exh_e} . Вижда се голямата разлика между тях, дължаща се на значителното влияние на $DO+AnStoTech$ върху средната температура на изходящите газове.



фиг.2.20. T_{exh1} , T_{exh2} и грешката T_{exh_e}

Относителната грешка между средната температура на изходящите газове T_{exh1} (°C), породена от изгарянето на дизелово гориво DO и тази от изгарянето на обработено дизелово гориво $DO+AnStoTech$ T_{exh2} (°C), от дизеловия двигател, е значително по-голяма от грешката, с изключение на при празен ход и максимално натоварване. Същата зависи от натоварването на двигателя и се променя съгласно уравнение $T_{exh_e}\%$, като намалява с нарастване на натоварването G . Има максимална стойност при средно натоварване.

Извод: Влиянието на $DO+AnStoTech$ върху средната температура на изходящите газове T_{exh2} е 5.7% - 10.1%, значително превъзхожда

грешката на експеримента с изключение при празен ход и максимално натоварване. Следователно обработката на горивото като *DO+AnStoTech* влияе значимо върху средната температурата на изходящите газове.

2.3.4. Изследване на влиянието на дизеловите горива *DO* и *DO+AnStoTech* върху честотата на въртене *n* (rpm)

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво *DO* (2.4) и при *DO+AnStoTech* (2.9) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването *G* (kg) върху честотата на въртене *n1* и *n2*. Експериментите са проведени както в т.3.а. Моделите имат вида:

$$\hat{n}_1 = 505.98 - 1.1674 \cdot G + 0.0046 \cdot G^2 \quad (2.4)$$

$$\hat{n}_2 = 503.4876 - 0.8661 \cdot G - 0.0133 \cdot G^2 \quad (2.9)$$

По уравненията и дадените стойности на натоварването на вала на двигателя *G* (кг) са направени пресмятания за предсказаните целеви функции *n1* и *n2*, дадени като транспонирани вектори:

$n_1 = [505.9 \ 503.6 \ 501.3 \ 499.1 \ 496.9 \ 494.7 \ 492.6 \ 490.5 \ 488.4 \ 486.4];$

$n_2 = [503.4 \ 501.7 \ 499.8 \ 497.8 \ 495.7 \ 493.4 \ 491.1 \ 488.7 \ 486.2 \ 483.5];$

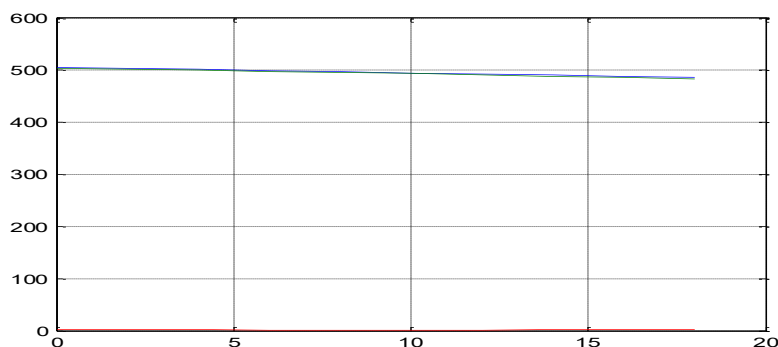
Разликата между тях формира вектора на грешката $n_e = n_1 - n_2$,

$n_e = [2.49 \ 1.96 \ 1.57 \ 1.32 \ 1.22 \ 1.26 \ 1.45 \ 1.78 \ 2.25 \ 2.86];$

Относителната грешка в проценти е $n_e\% = (n_e / n_1) \cdot 100$,

$n_e\% = [0.49 \ 0.38 \ 0.31 \ 0.26 \ 0.24 \ 0.25 \ 0.29 \ 0.36 \ 0.46 \ 0.58];$

На фиг. 2.21 са показани честотите на въртене, дължащи се на гориво *DO*, *n1* и на дизеловото гориво *DO+AnStoTech*, *n2* и грешката n_e . Вижда се незначителната разлика между двете реакции.



фиг.2.21. *n1*, *n2* и грешката n_e

Относителната грешка между честотата на въртене, породена от изгарянето на дизелово гориво DO n1 и тази от изгарянето на обработено дизелово гориво $DO+AnStoTech$ n2, от дизеловия двигател, е значително по-малка от грешката, с която са снети експерименталните данни. Същата зависи от натоварването на двигателя и се променя съгласно уравнение п_е %.

Извод: Влиянието на $DO+AnStoTech$ върху честотата на въртене е в диапазона 0.247% - 0.59%, значително по ниско от грешката на експеримента. Следователно обработеното гориво $DO+AnStoTech$ не влияе значимо върху честотата на въртене, спрямо DO.

Редно е да се спомене, че изследваният двигател работи с многорежимен регулатор UG8.

2.3.5. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и $DO+AnStoTech$ върху часовия разход на гориво B_h (g/h)

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво DO (2.5) и при $DO+AnStoTech$ (2.10) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G (kg) върху консумацията B_{h1} (g/h) и B_{h2} (g/h). Експериментите са проведени както в т.3.а. Моделите имат вида:

$$\widehat{Bh1} = 3084.9 + 319.3 * G \quad (2.5)$$

$$\widehat{Bh2} = 2481.9 + 235.4 * G + 5 * G^2 \quad (2.10)$$

По уравненията и дадените стойности на натоварването на вала на двигателя G са направени пресмятания за предсказаните целеви функции B_{h1} (g/h) и B_{h2} (g/h), дадени като транспонирани вектори,

B_{h1}=[3084.9 3723.5 4362.1 5000.7 5639.3 6277.9 6916.5 7555.1 8193.7 8832.3];

B_{h2}=[2481.9 2972.7 3503.5 4074.3 4685.1 5335.9 6026.7 6757.5 7528.3 8339.1];

Разликата между тях формира вектора на грешката

B_{h_e} = B_{h1} - B_{h2},

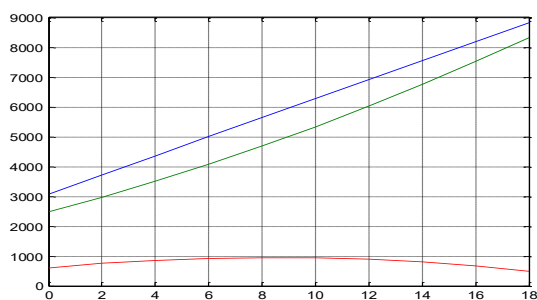
B_{h_e}=[603.0 750.8 858.6 926.4 954.2 942.0 889.8 797.6 665.4 493.2];

Относителната грешка в проценти е B_{h_e}%=(B_{h_e}/ B_{h1})*100

B_{h_e}%=[19.54 20.16 19.68 18.52 16.92 15.0 12.86 10.55 8.12 5.58];

На фиг. 2.22 са показани съответните консумации, дължащи се на дизелово гориво DO, consumption1 и на обработено дизеловото гориво $DO+AnStoTech$, consumption2 и грешката между тях consumption_e. Вижда се голямата разлика между тях, дължаща се на значителното

влияние на DO+AnStoTech върху консумацията на гориво, (долната крива).



фиг.2.22. Bh_1, Bh_2, Bh_e

Относителната грешка между консумацията Bh_1 от дизелово гориво DO и тази от обработено дизелово гориво $DO+AnStoTech$ Bh_2 от дизеловия двигател, е значително по-голяма от грешката, с която са снети експерименталните данни. Същата зависи от натоварването на двигателя и се променя съгласно уравнение $Bh_e\%$ като намалява с нарастване на товара G. Има максимална стойност 20.16 %, при натоварване $G=2$ (kg).

Извод: Влиянието на обработеното дизелово гориво $DO+AnStoTech$ върху консумацията е 5.58% - 20.16 %, значително превъзхожда грешката на експеримента. Следователно обработката на горивото с $DO+AnStoTech$ влияе значимо върху намаляване на консумацията на гориво.

2.4. Опростени зависимости за връзка между механичните характеристики P_{ef}, T_{exh}, n и B_h

В уводната част на тази глава беше споменато, че се разглеждат и приблизителни модели от първи ред, получени по МНМК но не удовлетворяващи всички условия на РА, поради което е възможна изместеност на оценките. Тяхната проста структура обаче позволява получаване на приблизителни зависимости между разглежданите целеви функции. Ще бъдат записани отново линейните модели, в дадените в т.2.1 и т.2.2 раздели, поотделно за двата вида гориво.

А). Линейни модели при изследване на влиянието на дизелово гориво DO

$$P_{ef} = 0.1974 + 1.8714 \cdot G, \quad \text{таблица 2.1}$$

$$T_{exh} = 135.523 + 14.9289 \cdot G, \quad \text{таблица 2.3}$$

$$n = 505.7537 - 1.0826 \cdot G, \quad \text{таблица 2.4}$$

$$B_h = 3084.9 + 319.3 \cdot G, \quad \text{таблица 2.5}$$

Изключвайки междинната променлива G, са получени следните математични модели, даващи всички комбинации между връзките на ефективната мощност P_{ef} , T_{exh} , n и B_h , дадени в следната таблица 2.11,

колона 1. За проверка на тяхното качество във втора колона са дадени стойности от експерименталните данни в три режима на натоварване на двигателя: 5.5 kg; 11.5 kg; 18.5 kg. В колона 3 са дадени пресметнатите стойности по моделите, а в колона 4, за сравнение получените от експеримента. Относителните грешки между тези по модела и експеримента са дадени в колона 5, не надхвърлящи 2.8%.

Таблица 2.11.

Модел на връзката	Стойности за:	Пресметнат и по модела	Получени от експеримента	Относ.грешка Колони [I(4-3)I/4]*100%
1	2	3	4	5
$T_{exh} = 141.604 + 7.4195 * P_{ef};$	$P_{ef}=10.58$	220.1023	218.333	0.8104
	$P_{ef}=21.83$	303.5717	296.667	2.3274
	$P_{ef}=34.62$	398.4671	405	1.6131
$n = 505.8622 - 0.5785 * P_{ef};$	$P_{ef}=10.58$	499.7417	499.9	0.0317
	$P_{ef}=21.83$	493.2335	493	0.0474
	$P_{ef}=34.62$	485.8345	486.1	0.0546
$B_h = 3051.22 + 170.621 * P_{ef};$	$P_{ef}=10.58$	4856.4	4950.0	1.8909
	$P_{ef}=21.83$	6775.9	6750.0	0.3837
	$P_{ef}=34.62$	8958.1	9000.0	0.4656
$n = 515.58 - 0.0725 * T_{exh};$	$T_{exh} = 218.333$	499.8899	499.9	0.0020
	$T_{exh} = 296.667$	493.7838	493.0	0.1590
	$T_{exh} = 405$	486.22	486.1	0.1565
$B_h = -205.167 + 22.99 * T_{exh};$	$T_{exh} = 218.333$	4814.3	4950.0	2.7414
	$T_{exh} = 296.667$	6615.2	6750.0	1.9970
	$T_{exh} = 405.0$	9105.0	9000.0	1.1667
$B_h = 152250.93 - 294.937 * n;$	$n = 499.9$	4811.9	4950.0	2.7899
	$n = 493.0$	6847.0	6750.0	1.4370
	$n = 486.1$	8882.1	9000.0	1.3100

Извод: Използването на линейните модели от първи ред, в случай, че не е направена регистрацията на някой променливи може да доведе до не повече от 3% грешка.

В) Линейни модели при изследване на влиянието на дизелово гориво *DO+AnStoTech*

Използват се линейните модели от дадените в т.2 таблици :

$P_{ef} = 0.1876 + 1.866 * G,$ таблица 2.6

$T_{exh} = 125.2676 + 13.4923 * G,$ таблица 2.8

$n = 504.0517 - 1.0969 * G,$ таблица 2.9

$B_h = 2271.1 + 321.73 * G,$ таблица 2.10

Аналогично на извършеното в т.А, изключвайки междинната променлива G, са получени следните математични модели, даващи всички комбинации между връзките на ефективната мощност P_{ef} , T_{exh} , n и B_h ,

дадени в следната таблица 2.12, колона 1. Описанието на таблицата е както при т. А.

Таблица 2.12

Модел на връзката	Стойности за:	Пресметнат и по модела	Получени от експеримента	Относ.грешка Колони $[I(4-3)I/4]*100\%$
1	2	3	4	5
$Texh = 111.708+7.2305 *Pef;$	$Pef=9.22$	178.3732	190.0	6.1194
	$Pef=21.78$	269.1883	273.333	1.5164
	$Pef=32.62$	347.5669	368.333	5.6379
$n= 505.1541-0.58783*Pef;$	$Pef=9.22$	499.7343	499.2	0.1070
	$Pef=21.78$	492.3512	492.0	0.0714
	$Pef=32.62$	485.9791	484.2	0.3674
$Bh= 1947.76+172.415*Pef;$	$Pef=9.22$	3537.4	3907.9	9.4808
	$Pef=21.78$	5703.0	5823.5	2.0692
	$Pef=32.62$	7571.9	8250.0	8.2194
$n= 517.235-0.0812*Texh;$	$Texh =190$	501.807	499.2	0.5222
	$Texh =273.333$	495.0404	492.0	0.6180
	$Texh =368.333$	487.3264	484.2	0.6457
$Bh= -715.84+23.808*Texh;$	$Texh =190$	3807.7	3907.9	2.5640
	$Texh =273.333$	5791.7	5823.5	0.5461
	$Texh =368.333$	8053.4	8250.0	2.3830
$Bh= 150113.75-293.418*n;$	$n = 499.2$	3639.5	3907.9	6.8681
	$n =492.0$	5752.1	5823.5	1.2261
	$n =484.2$	8040.8	8250.0	2.5358

Извод: Максималната грешка от определяне на Bh по модела вместо от експеримент е 9.5% , което се дължи на голямата грешка от замяната на нелинейната характеристика с линейна зависимост. Използването на зависимостите между линейните модели от първи ред, в случай, че не е възможна регистрацията на някои променливи може да се прилага. Необходимо е внимателно да се подхожда, тъй като при голяма стойност на дисперсията на грешката SY , тя може да доведе до увеличаване и на относителната грешка от замяна на експерименталните данни с тези от модела.

Глава III. Изследване на влиянието на дизелови горива *DO* и *DO+AnStoTech*, върху екологичните характеристики на корабен дизелов двигател *SKL 3NVD24*

Обект на разглеждане в тази глава са изследвания, проведени с два типа дизелови горива *DO* и *DO+AnStoTech* с цел изясняване на тяхното влияние върху въглероден окис CO (ppm), азотен окис NO (ppm), въглероден двуокис CO_2 (V%), азотноокисни съединения NOx (ppm), и

серен двуокис SO_2 (mg/Nm^3). Като метод на изследване е използван приложения в Глава II - създаване на точни, работоспособни математични модели и на тяхна база определяне на значимостта на влиянието на обработеното дизелово гориво *DO+AnStoTech* върху качеството на горивните процеси и като резултат подобряване на екологичните им характеристики. Информационно изследването е осигурено чрез проведени експерименти с двигателя, в лабораторни условия в лаборатория на ВВМУ при изменение на натоварването, приложено на вала на двигателя G (kg), чрез електрическа спирачна система. Натоварването обхваща практически всички режими на работа на двигателя.

3.1. Изследване влиянието на натоварването G (kg) на изхода вала на двигателя, върху екологичните характеристики при използване на гориво DO.

За целите на изследването са използвани са данни, дадени в следната таблица.

Таблица с експериментални данни с гориво DO

	Фактор	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция
No	x	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
	G	CO	NO	CO ₂	NO _x	SO ₂
	kg	ppm	ppm	V%	ppm	mg/Nm ³
1	0	151	148	2.6	141	5
2	1.8	246	201	2.3	195	22
3	3.5	330	255	2	252	39
4	5.5	438	309	1.7	298	55
5	7.5	500	354	2.1	345	58
6	9.5	562	399	2.8	381	60
7	11.5	624	445	3.6	408	61
8	13.8	825	475	4.5	430	82
9	16	1025.7	505	5.1	453	115
10	18.5	1226	535	5.7	476	136

3.1.1. Изследване влиянието на натоварването G (kg) на изхода вала на двигателя, върху отделения въглероден окис CO (ppm)

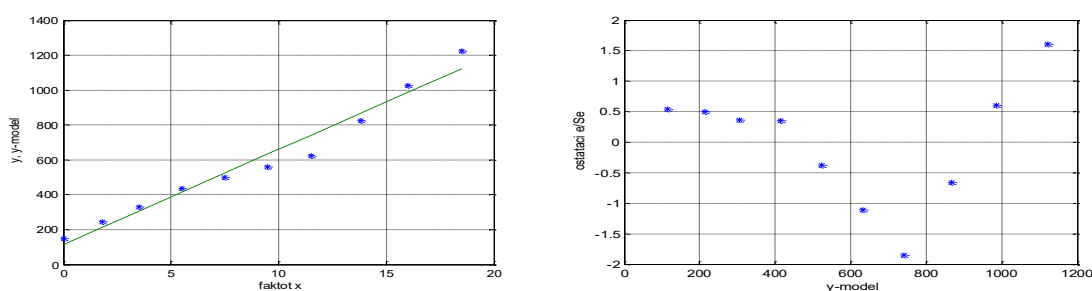
Направените изследвания и последващите изводи са дадени в табличен вид, включващ: вид на модела; резултати от проверка на качествата на модела чрез адекватност, минимална стандартна грешка SY, стойност на коефициента на корелация на Пирсън R_{yx}, както и проверка на условията за прилагане на PA: нормалност, отсъствие на корелация, стационарност и $\sum e_i = 0$ на остатъците. За универсалност в записите във всички таблици,

следващи изложението, с x са означени стойностите на фактора натоварване G , а с y целевите функции.

Таблица 3.1. Резултати от изследване влиянието на натоварването върху CO (ppm) при използване на гориво DO

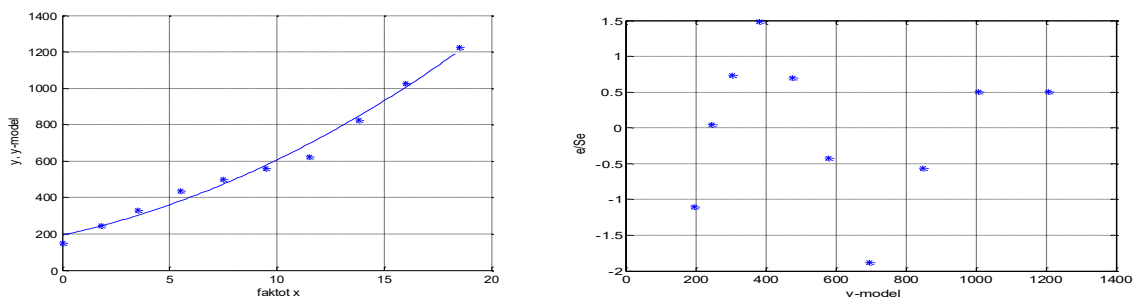
CO (ppm)						
Модел	Адекватност	Стандартна грешка SY	Проверка за нормалност по кр. Жак-Бера	Хомоскедастичност по критерия на Глейзер	Рух на Пирсън	ПРОВЕРКА за корелация по критерия на Дърбин-Уотсън
$\hat{y} = 115.9572 + 54.4307 * x$	Fem = 222.9232 F(0.05;1;8)=5.32 Извод: да	67.7924	JВem= 0.3286 JВт(0.05;2) = 5.99 Извод: нормално разпределение	$\alpha=0.05$, FFem = 4.0416 Ft(0.05;1;8)=5.32 Извод: да	0.98253	d = 0.6282 alfa=5%; dL= 0.879, dU= 1.32 0<d<dL Извод: положителна автокорелация
$\hat{y} = 193.2642 + 25.4617 * x + 1.5852 * x^2$	Fem = 279.6386 F(0.05;2;7)=4.74 Извод: да	43.2913	JВem = 0.4975 JВт(0.05;2) = 5.99 Извод: нормално разпределение	FFem = 0.0677 Ft(0.05;1;8)=5.32 Извод: да	0.9938	d = 1.0257 alfa=5%; dL= 0.879, dU= 1.32 dL<d<dU Извод: теста е неконклузивен

По долу са дадени линейният характер, по първия модел, на зависимостта на реалните данни $y(x)$ (*) и y_{model} (-), по уравнението на модела и нормираната грешка. Последната има нелинеен вид и показва, че независимо, че коефициента на корелация $R_{yx}=0.98253$ е голям, Регресионната зависимост свързваща натоварването G и въглеродния окис CO (ppm) има нелинеен характер, уравнение от втори ред.



Фигури 3.1. Резултати от линеен модел

Резултатите от получен нелинеен модел от втори ред са дадени във втория ред на таблица 3.1, а по-долу, фиг. 3.2 вида на зависимостта на експерименталните данни (*) и тази по нелинейния модел (-). Тук зависимостта на нормираната грешка e/Se има случаен характер и не показва промяна в характер на математичния модел.



Фигури 3.2 Резултати от нелинеен модел

Сравнителният анализ на двата модела показва, че и двата са адекватни и удовлетворяват предположенията за прилагане на РА, с изключение на теста на Дърбин –Уотсън при линейния модел. Параболичният модел обаче е по-точен, с по-малка стандартна грешка $SY= 43.2913$ и голям коефициент на корелация на Пирсон 0.9938 , което е основание същият да бъде избран като Регресионен модел на връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), и отделения при горенето CO . Същият има вида (3.1)

$$\widehat{CO} = 193.2642 + 25.4617 * G + 1.5852 * G^2 \quad (3.1)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G и отделения при горенето CO се приема параболичен регресионен модел от втори ред.

3.1.2. Изследване влиянието на натоварването G (kg) на изхода вала на двигателя, върху отделения азотен окис NO (ppm)

Обработвани са 10 комплекта от данни от регистрацията на натоварването на двигателя и изменението на отделения при горенето азотен окис. Резултатите са дадени в табличен и графичен вид. Параболичният модел обаче е по-точен, с по-малка стандартна грешка $SY= 3.1026$ и голям коефициент на корелация на Пирсон 0.99985 , което е основание същият да бъде избран като Регресионен модел на връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg) и отделения азотен окис NO . Същият има вида (3.2),

$$\widehat{NO} = 146.7335 + 32.8001 * G - 0.642 * G^2 \quad (3.2)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G и отделения азотен окис NO се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен с много добра точност и удовлетворява всички условия за прилагане на Регресионния анализ.

3.1.3. Изследване влиянието на натоварването G (kg) на изхода вала на двигателя, върху отделения въглероден диоксид CO_2 (V%)

Сравнителният анализ на двата модела показва, че и двата са адекватни и удовлетворяват предположенията за прилагане на РА, с изключение на теста на Дърбин – Уотсън за линейния модел. Параболичният модел обаче е по-точен, с по-малка стандартна грешка $SY = 0.3801$ и голям коефициент на корелация на Пирсон 0.97138 , което е основание същият да бъде избран като Регресионен модел на връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), отделения въглероден диоксид CO_2 (V%). Същият има вида (3.3),

$$\widehat{CO_2} = 2.3365 - 0.1206 * G + 0.0176 * G^2 \quad (3.3)$$

Съществува стойност на натоварването G , при което ще има минимална стойност на въглероден диоксид CO_2 . От условието за екстремум на функцията (3.3), следва:

$$\frac{\partial CO_2}{\partial G} = -0,1206 + 2 * 0,0176 * G = 0,$$

откъдето $G_{\min} = 3.4261$ kg, т.е. режимът на работа на дизеловият двигател с този товар осъществява минимална стойност на $CO_{2\min} = 2.13$ V%.

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G (kg) и отделения въглероден двуокис CO_2 (V%) се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен и с добро качество. На негова база е определено оптималното натоварване на дизеловият двигател $G_{\min} = 3.4261$ kg, реализиращ минимална стойност на $CO_{2\min} = 2.13$ V%.

3.1.4. Изследване влиянието на натоварването G (kg) на изхода вала на двигателя, върху отделените азотни съединения NO_x (ppm)

Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg) и отделените азотни съединения NO_x (ppm) има вида (3.4),

$$\widehat{NO_x} = 143.296 + 32.2689 * G - 0.7912 * G^2 \quad (3.4)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G (kg) и отделените азотни съединения NO_x (ppm) се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен и отговаря на всички условия за прилагане на РА.

3.1.5. Изследване влиянието на натоварването G (kg) на изхода вала на двигателя, върху отделения серен двуокис SO_2 (mg/Nm³)

Връзката на натоварването на вала на двигателя G (kg), отделения серен двуокис SO_2 (mg/Nm³) има вида (3.3),

$$\widehat{SO_2} = 15.6928 + 3.7956 \cdot G + 0.1290 \cdot G^2 \quad (3.3)$$

Извод: За математическо описание на зависимостта между натоварването на вала на двигателя G (kg) и отделения серен двуокис SO_2 (mg/Nm³) се приема математичен модел от параболичен вид. Същият е адекватен и с добро качество.

3.2. Изследване влиянието на натоварването G (кг) на изхода вала на двигателя, върху екологичните характеристики при използване на гориво $DO+AnStoTeh$

Направените изследвания в този раздел, като приложна методология повтарят тези от предния раздел. Търсят се качествени модели свързващи променливите, целеви функции CO , NO , CO_2 , NO_x и SO_2 с фактора натоварване на вала на двигателя G . При проведените експерименти се използва обработено гориво $DO+AnStoTeh$. Използвани са данни от лабораторни изпитания, дадени в следната таблица.

Таблица с експериментални данни с гориво $DO+AnStoTeh$

	Фактор	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция	Целева функция
No	X1	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
	G	CO	NO	CO2	NO _x	SO ₂
	kg	ppm	ppm	V%	ppm	mg/Nm ³
1	0	135	128	2.4	135	4
2	1.6	181	185	2.1	181	5
3	3.2	227	242	1.8	224	5
4	4.8	253	288	1.5	259	8
5	7	315	335	1.6	304	10
6	9.2	416	382	1.9	349	12
7	11.5	522	408	2.5	385	15
8	13.5	622	430	3.8	415	19
9	15.5	766	452	5.5	425	23
10	17.5	1009	476	7.4	432	38

3.3. Количествен анализ на влияние на дизеловите горива DO и $DO+AnStoTeh$, върху екологичните характеристики на корабен дизелов двигател $SKL 3NVD24$.

Алгоритъм на изследването се свежда до изпълнение на следната последователност: създаване на качествени математически модели от

типа „причина – следствие“ и за двата вида горива и създаване на тяхна основа на реакции, предсказани целеви функции. След анализ на същите се определя грешката, която се съпоставя с грешката от експеримента и се взема решение за значимо влияние на изследваното гориво.

3.3.1. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и AnStoTech върху въглеродния окис CO(ppm)

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво DO (3.1) и при DO+AnStoTech (3.6) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G (kg) на двигателя, при използване на два вида гориво върху въглеродния окис CO(ppm).

$$\widehat{CO}_1 = 193.2642 + 25.4617 * G + 1.5852 * G^2 \quad (3.1)$$

$$\widehat{CO}_2 = 163.4515 + 4.5207 * G + 2.3607 * G^2 \quad (3.6)$$

По уравненията, при изменение на натоварването в диапазона $G = [0 \ 2 \ 4 \ 6 \ 8 \ 10 \ 12 \ 14 \ 16 \ 18]$, представляващ изследователски интерес са получени стойностите за CO1 и CO2, дадени като вектор редове:

$$CO_1 = [193.3 \ 250.5 \ 320.5 \ 403.1 \ 498.4 \ 606.4 \ 727.1 \ 860.4 \ 1006.5 \ 1165.2];$$

$$CO_2 = [163.5 \ 181.9 \ 219.3 \ 275.6 \ 350.7 \ 444.7 \ 557.6 \ 689.4 \ 840.1 \ 1009.7];$$

Грешката между двете предсказани стойности $CO_e = CO_1 - CO_2$ е

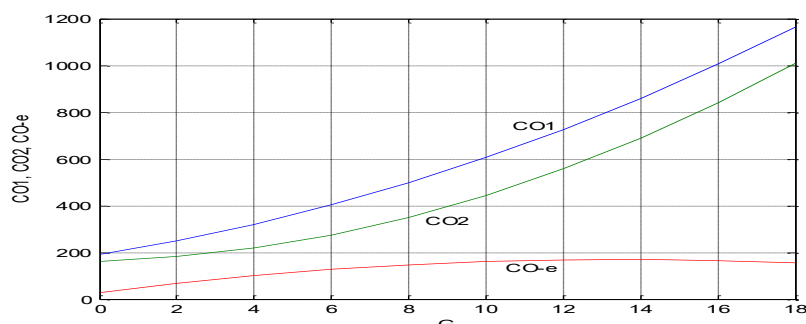
$$CO_e = [29.81 \ 68.59 \ 101.16 \ 127.54 \ 147.70 \ 161.67 \ 169.43 \ 170.98 \ 166.34 \ 155.48];$$

Относителната грешка, която съществува между двата процеса в проценти е $CO_e\% = (CO_e / CO_1) * 100$,

$$CO_e\% = [15.42 \ 27.37 \ 31.56 \ 31.63 \ 29.63 \ 26.66 \ 23.30 \ 19.87 \ 16.52 \ 13.34];$$

Вижда се, че максималната относителна грешка е 31.63 %, при натоварване $G = 6$ kg. При условие, че грешката, с която се снемат експерименталните данни е 5% , може да се приеме, че разликата между стойностите на CO1, при гориво DO и CO2, при гориво DO+AnStoTech значително е над тази стойност.

На фигура 3.21 са дадени предсказаните по моделите стойности на CO1, CO2 и разликата между тях CO_e.



Фиг. 3.21 CO1 и CO2, и CO_e

Извод: Влиянието на дизеловото гориво *DO+AnStoTech* върху отделянето на въглероден окис CO (ppm), при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е значително над грешката на експеримента и следва да се приеме за значимо в целия интервал на натоварване.

3.3.2. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и AnStoTech върху азотния окис NO (ppm)

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво *DO* (3.2) и при *DO+AnStoTech* (3.7) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G (kg) при два вида гориво, върху азотния окис NO (ppm).

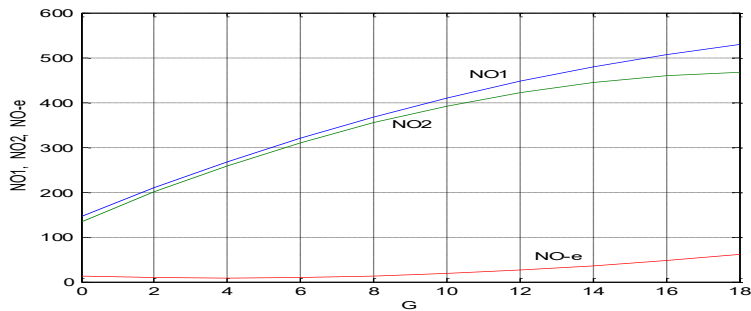
$$\widehat{NO1} = 146.7335 + 32.8001 * G - 0.642 * G^2 \quad (3.2)$$

$$\widehat{NO2} = 134.046 + 34.8209 * G - 0.9049 * G^2 \quad (3.7)$$

$$NO_e\% = [8.64 \quad 4.62 \quad 3.29 \quad 3.12 \quad 3.62 \quad 4.57 \quad 5.87 \quad 7.27 \quad 9.39 \quad 11.62];$$

Вижда се, че максималната относителна грешка, която съществува е 11.62 %, при натоварване $G = 18$ kg.

На фигура 3.22 са дадени предсказаните по моделите стойности на NO1, NO2 и разликата между тях NO_e.



Фиг. 3.22 NO1 и NO2, и NO_e

Извод: Влиянието на дизеловото гориво *DO+AnStoTech* върху отделянето на азотен окис NO (ppm), при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е различно и зависи от натоварването. То е значително при $G=0$ kg и $G=12-18$ kg. При средни натоварвания (2-10) kg, влиянието на гориво *DO+AnStoTech* е съизмеримо с грешката на експеримента, т.е. може да се пренебрегне.

3.3.3. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и AnStoTech върху въглеродния двуокис CO₂ (V%)

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво DO (3.3) и при *DO+AnStoTech* (3.8) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G (kg) при използване на два вида гориво върху въглеродния двуокис CO₂(V%).

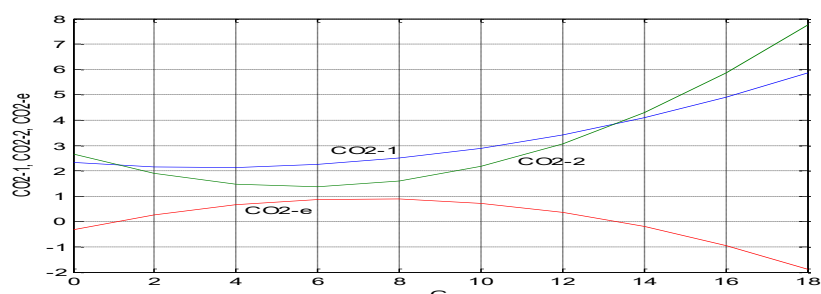
$$\widehat{CO}_21 = 2.3365 - 0.1206 * G + 0.0176 * G^2 \quad (3.3)$$

$$\widehat{CO}_22 = 2.6617 - 0.4642 * G + 0.0415 * G^2 \quad (3.8)$$

CO_{2_e} = [-0.3252 0.2664 0.6668 0.876 0.894 0.7208 0.3564 -0.1992 -0.946 -1.8840];
 Относителната разлика, която съществува между двата процеса в проценти е $CO_{2_e}\% = (CO_{2_e} / CO_{21}) * 100$,

CO_{2_e}% = [-13.91 12.30 31.22 38.99 35.78 24.93 10.40 -4.86 -19.25 -32.10];

На фигура 3.23 са дадени предсказаните по моделите стойности на CO₂1, CO₂2 и разликата между тях CO_{2_e}.



Фиг3.2.CO₂_1, CO₂_2 и CO₂_e.

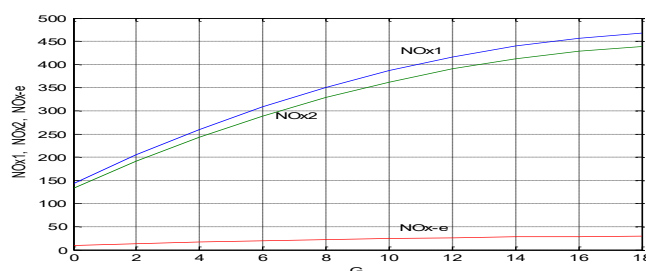
Извод: Влиянието на дизеловото гориво *DO+AnStoTech* върху отделянето на CO₂ (V%), при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е различно и зависи от натоварването. То е значително при G=0 kg, G=16 и 18 kg, където влиянието на *DO+AnStoTech* не е благоприятно. В средните натоварвания (2-12) kg, обаче влиянието на гориво *DO+AnStoTech* дава значително намаляване на въглеродния диоксид.

3.3.4. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и AnStoTech върху азотните съединения NO_x (ppm)

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво DO (3.4) и при *DO+AnStoTech* (3.9) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G при два вида гориво върху азотните съединения NO_x(ppm).

$$\widehat{NOx1} = 143.296 + 32.2689 * G - 0.7912 * G^2 \quad (3.4)$$

$$\widehat{NOx2} = 133.5455 + 30.2969 * G - 0.7427 * G^2 \quad (3.9)$$



Фиг. 3.24 NO_{x1}, NO_{x2}, NO_{x-e}

Извод: Влиянието на дизеловото гориво *DO+AnStoTech* върху отделянето на азотни съединения NO_x, при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е значимо в целият диапазон на изменение на натоварването на двигателя. То има максимална стойност при G=0 и слабо изменение в останалия товарен диапазон.

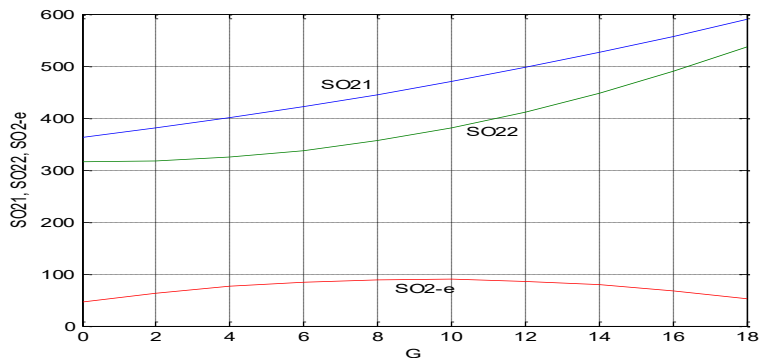
3.3.5. Изследване на влиянието на дизеловите горива DO и AnStoTech върху серния двуокис SO₂ (mg/Nm³)

Математичните модели, създадени по метода на Регресионния анализ при регистриране на 10 комплекта експериментални данни и използване на дизелово гориво DO (3.5) и при DO+AnStoTech (3.10) са дадени по-долу. Те отразяват статистическата връзка на влияние на натоварването G (kg) при два вида гориво G (kg) върху серния двуокис SO₂.

$$\widehat{SO_{21}} = 362.6956 + 8.4911 \cdot G + 0.2293 \cdot G^2 \quad (3.5)$$

$$\widehat{SO_{22}} = 315.9514 - 0.7739 \cdot G + 0.7272 \cdot G^2 \quad (3.10)$$

На фигура 3.25 са дадени предсказаните по моделите стойности на SO₂₁, SO₂₂ и разликата между тях SO_{2_e}.



Фиг. 3.25 SO₂₁, SO₂₂, SO_{2_e}

Извод: Влиянието на дизеловото гориво DO+AnStoTech върху отделянето на серен двуокис SO₂, при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е значимо в целият диапазон на изменение на натоварването на двигателя. Има максимална стойност в средния диапазон $G=6$ (kg) и намалява с нарастване на натоварването.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ.

1.) Изхождайки от спецификата на задачата за количествени сравнения на влиянието на два типа дизелови горива, DO и DO+AnStoTech, върху характеристиките: ефективна мощност P_{ef} (kW); специфичен разход на гориво SFOC (g/kWh); средна температура на изгорелите газове T_{exh} (°C); честота на въртене n (rpm) и часова

консумация B_h (g/h), въглероден окис CO (ppm), азотен окис NO (ppm), въглероден диоксид CO_2 (V%), азотноокисни съединения NO_x (ppm) и серен двуокис SO_2 (mg/Nm³), в зависимост от натоварването G (kg), на корабен дизелов двигател SKL 3NVD24 е предложен метод и основаващ се на него алгоритъм за оценка на съответните влияния, състоящ се в съставяне на точни математични модели, създадени по експериментални данни, в зависимост от реакциите на които след анализ, е извършено оценяването.

2.) Създадени са качествени математични модели, използвайки метода на Регресионния анализ на P_{ef} , SFOC, T_{exh} , n , consumption, CO, NO, CO_2 , NO_x и SO_2 в зависимост от натоварването на двигателя G , при двата вида горива DO и DO+AnStoTech.

3.) Използвайки предсказаните стойности, по моделите и сравнявайки ги при двата вида дизелови горива са направени са следните изводи:

3.1.) Влиянието на дизелово гориво DO+AnStoTech върху ефективната мощност P_{ef} в сравнение с дизелово гориво DO е в рамките на грешката на експеримента и не може да се приеме като значимо.

3.2.) Влиянието на DO+AnStoTech в сравнение DO върху SFOC (g/kWh) е 10.6% - 19.8%, значително превъзхожда грешката на експеримента. Следователно обработката на горивото с AnStoTech значимо влияе върху върху специфичния разход на гориво SFOC (g/kWh).

3.3.) Влиянието на DO+AnStoTech в сравнение DO върху средната температура на изходящите газове T_{exh2} е 5.7% - 11.9%, значително превъзхожда грешката на експеримента. Следователно обработката на горивото като DO+AnStoTech влияе значимо върху средната температурата на изходящите газове.

3.4.) Влиянието на DO+AnStoTech в сравнение DO върху честотата на въртене е в диапазона 0.247% - 0.59%, значително по ниско от грешката на експеримента. Следователно обработеното гориво DO+AnStoTech не влияе значимо върху честотата на въртене, спрямо DO. Редно е да се спомене, че изследваният двигател работи с многорежимен регулатор.

3.5.) Влиянието на обработеното дизелово гориво DO+AnStoTech в сравнение DO върху консумацията B_h е 5.58% - 20.16 %, значително превъзхожда грешката на експеримента. Следователно обработката на горивото с DO+AnStoTech влияе значимо върху намаляване на консумацията на гориво.

3.6.) Използването на линейните модели от първи ред между променливите P_{ef} , $SFOC$, $Texh$, n и Bh в случай, че не е направена регистрацията на някой тях е възможно. При използване на гориво DO грешката между моделните и експериментални стойности не надхвърля 3%. При дизелово гориво DO+AnStoTech тя е значително по-голяма, което показва, че следва по-внимателно да се прилага при големи стойности на стандартната грешка SY.

3.7.) Влиянието на дизеловото гориво DO+AnStoTech върху отделянето на въглероден окис CO (ppm), при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е значително над грешката на експеримента и следва да се приеме за значимо в целия интервал на натоварване. Влиянието на горивото DO+AnStoTech е значително по-голямо при ниско и средно натоварване (2-10 kg) и намалява с нарастване на натоварването.

3.8.) Влиянието на дизеловото гориво DO+AnStoTech върху отделянето на азотен окис NO (ppm), при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е различно и зависи от натоварването. То е значително при $G=0$ kg и $G=12-18$ kg. При средни натоварвания (2kg-10kg), влиянието на гориво DO+AnStoTech спрямо гориво DO е съизмеримо с грешката на експеримента, т.е. може да се пренебрегне.

3.9.) Влиянието на дизеловото гориво DO+AnStoTech върху отделянето на CO₂ (V%), при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е различно и зависи от натоварването. То е значително при $G=0$ kg и $G=16$ и 18 kg, където влиянието на DO+AnStoTech не е благоприятно. В средните натоварвания (2-12) kg, обаче влиянието на гориво DO+AnStoTech, спрямо гориво DO дава значително намаляване на въглеродния диоксид. Определени са оптимални стойности на натоварването G, даващо минимални стойности на CO₂, за двата вида гориво.

3.10.) Влиянието на дизеловото гориво DO+AnStoTech върху отделянето на азотни съединения NO_x, при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е значимо в целият диапазон на изменение на натоварването на двигателя. То има максимална стойност при $G=0$ и слабо изменение в останалия товарен диапазон.

3.11.) Влиянието на дизеловото гориво DO+AnStoTech върху отделянето на серен двуокис SO₂, при работа на дизеловия двигател, в сравнение с дизелово гориво DO е значимо в целият диапазон на изменение на

натоварването на двигателя. Има максимална стойност в средния диапазон $G=6$ (kg) и намалява с нарасване на натоварването.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представеният дисертационен труд предлага едно завършено научно изследване върху проблема за влиянието на два вида дизелово гориво DO и DO+AnStoTech върху механичните и екологични характеристики на корабен дизелов двигател SKL 3NVD24 при изменение на натоварването му от празен ход $G=0$ до G_{max} . Предлагайки изследователски подход на изследване чрез математически модели и сравнявайки техните реакции, като се използват предсказани стойности в определен изследователски интерес на изменение на натоварването са получени резултати, показващи подобряване на някои характеристики чрез използване на обработено дизелово гориво с DO+AnStoTech, спрямо гориво DO.

ПРИНОСИ НА ДОКТОРАНТА.

- Научно приложни приноси:
 - 1.) Предложен е алгоритъм за оценка на влиянието на дизеловите горива DO и DO+AnStoTech на механичните и екологични характеристики при работа на дизелов двигател SKL 3NVD24 в зависимост от натоварването, състоящ се в съставяне на точни математични модели, създадени по експериментални данни, в зависимост от реакциите на които след анализ, е извършено оценяването.
 - 2.) Използвайки Регресионен анализ са съставени 20 ефективни математични модели, даващи връзката на механичните и екологични характеристики и натоварването на двигателя при горива DO и DO+AnStoTech.
 - 3.) На базата на създадените математични модели са изяснени връзките между натоварването и механичните и екологични характеристики на дизеловия двигател.
 - 4.) Изяснено е значимо или незначимо е влиянието на DO+AnStoTech спрямо гориво DO върху механичните и екологични характеристики на двигателя. Определно е степента на това влияние.
 - 5.) Определено е оптималното натоварване G_{opt} на дизеловия двигател, даващо минимални стойности на въглеродния диоксид CO_2 .

6.) Създадени са опростени зависимости за връзка между механичните характеристики P_{ef}, T_{exh}, n и V_h

- Практически приложни приноси:

1.) Създаден е стенд за лабораторни изпитания и информационно осигуряване на експерименталните изследвания.

Публикации, свързани с дисертационния труд :

1. Попов Д. ас. инж., Изследване на влиянието на дизеловите горива (стандартно дизелово гориво и стандартно дизелово гориво след обработка с AnStoTech устройство) върху специфичния разход на гориво на корабен дизелов двигател SKL 3NVD24, XVIV International congress winter session “Machines. Technologies, Materials”, 10–13.03.2021 Borovets, Bulgaria
2. Бакалов И. доц., д-р, Попов Д. ас. инж., Изследване на влиянието на дизеловите горива (стандартно дизелово гориво и стандартно дизелово гориво след обработка с AnStoTech устройство) върху средната температура на изгорелите газове на корабен дизелов двигател skl 3nvd24, XVIV International congress winter session “Machines. Technologies, Materials”, 10–13.03.2021 Borovets, Bulgaria
3. Бакалов И. доц., д-р, Попов Д. ас. инж., О Т Ч Е Т (по договор за дарение № 24.10.2019 г.) Сравняване в стендови условия на показателите на корабен дизелов двигател SKL 3NVD24 при работата му със стандартно дизелово гориво и работата му със стандартно дизелово гориво след обработка с устройство AnStoTech Equipment разработено от Възложителя.