

ВВМУ „НИКОЛА ЙОНКОВ ВАПЦАРОВ”

ФАКУЛТЕТ „ИНЖЕНЕРЕН”

Катедра „Корабни силови уредби”

К-н лейт., инж. ИВАЙЛО ИВАНОВ СТОЕВ

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ГОРИВНА
ПОМПА ЗА ВИСОКО НАЛЯГАНЕ НА ДИЗЕЛОВ ДВИГАТЕЛ ПРИ РАБОТА С
ВОДОГОРИВНА ЕМУЛСИЯ**

Професионално направление: 5.5. Транспорт, „Корабоплаване, и авиация”,
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 1 ранг, доц. д-р инж. Юлиян Василев Москов

Рецензенти:

- професор д.т.н. Михаил Николов Серафимов – ТУ Варна;
- професор доктор Пейчо Димов Томов – ВВМУ Варна;
- професор доктор Ангел Йорданов Димитров – ТУ Варна;
- доцент доктор Васил Димитров Георгиев – ТУ Варна;

Варна, 2014 г.

Дисертантът работи във военно формирование 28580/32140 – гр. Варна и е задочна форма на обучение в катедра „Корабни силови уредби“ при факултет „Инженерен“ на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“.

Изследванията от дисертационния труд са извършени във ВВМУ „Н. Й. ВАПЦАРОВ“, кат. „Корабни силови уредби“, кат. „Кораборемонт“ и завод „ТЕРЕМ -КРЗ ФЛОТСКИ АРСЕНАЛ -ВАРНА“.

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

Автор: к-н лейт., инж. Ивайло Иванов Стоев

Заглавие: Изследване на експлоатационните показатели на горивна помпа за високо налягане на дизелов двигател при работа с водогоривна емулсия.

Тираж: 15 броя

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Актуалност и значимост на дисертационния труд.

Голямо внимание предизвикват вредните съединения от отработилите газове на двигателите с вътрешно горене. В резултат на което са приети по-стриктни изисквания и правила от МЕЖДУНАРОДНАТА МОРСКА ОРГАНИЗАЦИЯ – INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, заложили в Международна конвенция за предотвратяване замърсяването на моретата и океаните (MARPOL Annex VI), за намаляване както на емисиите от азотни оксиди, така и за лимитиране на нивата на сяра в горивата, като по този начин се ограничават емисиите от NO_x и серни оксиди. Въвеждат се т.н. емисионни контролирани зони – Emission control areas (ECAs) и Sulfur oxide emission control areas (SECAs) с още по-строги изисквания към NO_x и SO_x емисиите, респективно се регламентират ограничения на емисиите - Tier 1, Tier 2, Tier 3 и Tier 4.

В SACAs териториите, главно след 2015 година, изискванията за горивата с ниско съдържание на сяра значително ще се увеличат. При тези изисквания мазута няма да може да покрие критериите на ИМО, както и някои дестилирани дизелови горива.

В следствие на това корабната индустрия се насочва към разработването на методи за намаляване на тези емисии под стойностите заложили в конвенциите на ИМО. Основните методи за намаляване на вредните емисии биват два основни вида. Чрез подобряване на процесите вътре в двигателя (първични методи) и чрез рецикулация на отработилите газове (вторични методи) NO_x емисиите могат да бъдат намалени. Най-важните първични методи, които са разработени са:

- оптимизиране на работните процесите (работните характеристики на двигателя: оптимизиране на горивоподаването, на времето за отваряне и затваряне на клапаните, температура и налягане на приемания въздух и други;

- овлажняване на въздуха: горещият компресиран въздух се овлажнява и охлажда. Това от една страна увеличава топлинния капацитет на въздуха, което позволява абсорбирането на повече топлина, а от там намалява кислородното съдържание. Резултатът от овлажняването се изразява в намаляване на температурата на горене, което води до намаляване на NO_x емисиите.

- водогоривни емулсии (ВГЕ);

- рецикулация на отработилите газове: Част от отработилите газове след почистване от серния оксид и твърдите частици се смесват с въздуха и отново постъпва в цилиндрите. Повишената концентрация на CO_2 и H_2O увеличава топлинния капацитет на въздушната смес, а намалените нива на кислород означават, че в цилиндрите трябва да се вкара по-голямо количество въздух за да се осигури добър горивен процес. По-голямото количество въздух и увеличения топлинен капацитет водят до намаляване на температурата на горене, а следователно и до намаляване на NO_x емисиите.

Изискванията на ИМО дават възможност за развитие на тежки емулгирани горива.

Водогоривните емулсии се свързват главно с остатъчните горива (мазут). Големият вискозитет (обикновено между 10-15 [cSt]) както и близките стойности на плътността между мазутът и водата спомагат за стабилизирането на водните капки в горивната матрица.

Водата в горивната камера намалява максималните стойности на температурата по време на процеса горене, което води до понижаване на нивата на азотните оксиди в отработилите газове на двутактовите и четиритактовите корабни дизелови двигатели.

2. Цел и задачи на изследването.

На основа на направената аналитична оценка на състоянието на проблема са определени целта и произтичащите от нея задачи на настоящата дисертация. Целта е:

Изследване на влиянието на водогоривна емулсия с 50 [%] съдържание на вода върху износването и състоянието на прецизните двойки от горивна помпа за високо налягане на корабен дизелов двигател.

За постигането на поставената цел са решени следните основни задачи.

1. Да се извърши аналитичен обзор на същността на съвременните водогоривните емулсии, техните физични и технологични свойства, приложения, предимства и недостатъци.

2. Да се планира и проведе натурен експеримент за оценка влиянието на ВГЕ върху регулировъчните фактори и техническото състояние на ГПВН на КДД.

3. Да се разработи методика за отчитане на резултатите от експеримента.

4. Да се направи статистическо обработване на базите данни, да се оцени и анализира точността на резултатите от натурния експеримент.

3. Обект и място на изследването.

Изследвани са прецизни елементи на горивна помпа за високо налягане при работа на 50 [%] водогоривна емулсия в периода 2011-2012 г., като е използван щатен стенд СТАР-12, модифициран в опитна уредба на територията на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров” – Варна, катедра „Корабни силови уредби”. Основни етапи от подготовката на експеримента и извършените изследванията са проведени на територията на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров” – Варна, катедра „Кораборемонт” и завод “ТЕРЕМ - КРЗ ФЛОТСКИ АРСЕНАЛ - ВАРНА”

4. Методи на изследването.

За постигане на целта и решаване на поставените задачи в дисертацията, са използвани методи за теоретично и експериментално изследване, анализ, оценка и програми за математично моделиране, текстообработка и графичен дизайн.

5. Практическа приложимост.

Доказано е същественото влияние на емулсия, със съдържание на 50 [%] вода, върху състоянието на повърхностният слой на прецизните елементи, като са оценени износванията качествено и количествено.

6. Аprobация.

По темата на дисертационния труд са публикувани 4 научни статии, рецензирани и отпечатани в национални научни списания. Списък на публикациите по дисертационния труд е представен в края на автореферата. Получените резултати от изследването са важна част от научен проект за разработване на стабилна ВГЕ с 50 [%] съдържание на вода към Университет по Хранителни Технологии (УХТ) - гр. Пловдив, България и за целите на „Проект за създаване на ново гориво за ползване предимно от морски съдове” на инж.Величко Александров – Член на Борда на директорите на Бизнес консултативния съвет за Югозападна Европа.

7. Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд включва увод и 4 глави. Съдържанието на труда е изложено в 159 страници, в това число 108 фигури и графики, 28 таблици, 24 приложения и библиография от 170 заглавия, от които 116 на кирилица и 54 на латиница.

КРАТКО СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Увод.

Във въведението са посочени тенденциите в използването на водогоривните емулсии в корабните дизелови двигатели, основните проблеми при разширяване на приложението им и е дефинирана актуалността на темата на дисертационния труд.

Глава I. Състояние на проблема.

Съвременните емулсии, разгледани в аналитичния обзор представляват смес от две взаимно несмесващи се течности - например гориво и вода. Те са дисперсни системи с течна дисперсна среда и течна дисперсна фаза. Емулсиите обикновено са мътни на вид и разсейват светлината. Ако се разклатят силно, двете течности се смесват временно, но след това постепенно се отделят отново. За да се запази и стабилизира образуваната емулсия се прибавят т.нар. емулгатори.

Емулгаторите са веществата добавяни с цел получаване на финодисперсни и устойчиви колоидни системи с размер на частиците $10^{-9}[\text{m}] \div 10^{-7}[\text{m}]$.

Ролята на емулгаторът е да улесни формирането на нова повърхност чрез намаляване на свободната повърхностна енергия и да осигури стабилност чрез адсорбционен слой на граничната повърхност.

Целта на емулгаторите и на стабилизаторите е стабилизиране на вече формирана хомогенна система или подобряване на степента на хомогенизиране на сместа.

Разработени и патентовани са голям брой ВГЕ, които са структурно подредени в класификации, но с много малък брой от тях са проведени натурни изследвания върху работата на КДД и ГА.

В литературният обзор няма налични литературни източници, в които да е споменато изследване на влиянието на ВГЕ върху горивните помпи за високо налягане, няма изследвания свързани с механичния и физико-химичен анализ на влиянието на ВГЕ върху основни структурни възли на КДД.

Главната цел на съвременните проучвания е да се разработи емулгатор, който да създаде стабилна емулсия с големи количества вода (до 50 [%]) в горивото, като се запази екологичността и ефективността на процесите, сигурната, стабилна и безопасна работа на КДД.

Направени са многобройни тестове на поредица от емулгатори, включително на продукти известни на пазара и такива специално създадени за целите на тестовете, за да се избере най-подходящия емулгатор за нискочестотните двутактови КДД.

Ефективното прилагане на ВГЕ, с 50 процентно съдържание на вода, изисква допълнително разширяване на обхвата на изследванията върху ГА, ГПВН и прецизните елементи.

По отношение работата на ГПВН на ВГЕ не са изяснени следните основни въпроси:

- влияние на ВГЕ върху общото състояние на ГПВН;

- влияние на ВГЕ върху състоянието на прецизните елементи на ГПВН;
- влияние на ВГЕ от ГА;

Не е изследвано влиянието на вискозитета и неговата промяна върху техническото състояние на горивната апаратура.

В разгледаната литература липсва детайлен отговор на въпроса относно изследване на влиянието на водогоривна емулсия, с 50 [%] съдържание на вода, върху износването и състоянието на прецизните двойки от горивна помпа за високо налягане на корабен дизелов двигател. Не са констатирани данни за подобно изследване на токсичност на емисиите, стабилност на емулсията и нейната тоplotворна способност пряко в горивната камера на двигателя.

Разгледаните свойства и характеристики на водогоривните емулсии ги определят като перспективно гориво, което намира приложение в различни инженерни области с модерни горивни камери.

Реализирането на икономически успешни проекти, заменящи тежкото дизелово гориво с водогоривна емулсия, стимулира задълбочаване на изследванията в това направление.

На този етап от изследването на ВГЕ не са налични данни за проверка на енерго икономическите показатели и екологични фактори при работа на КДД на емулсии с близко до 50 [%] съдържание на вода.

Въпреки широкото приложение на ВГЕ не са посочени подробни изследвания за оценка на влиянието на емулсиите върху прецизните елементи и техните технологични свойства.

Поради липсата на задълбочени изследвания на последствията върху горивната апаратура няма и предложени нови технологични методи за комплексно възстановяване на прецизните елементи.

Експлоатацията на главните корабни двигатели на водогоривна емулсия изисква задълбочено изследване на влиянието на емулсиите върху всеки един елемент от горивната апаратура.

Отчитането на влиянието на водогоривните емулсии е препоръчително да започне от елемента подложен на най-силно химично въздействие, на най-голямо механично триене, и износване - прецизните двойки на горивна помпа за високо налягане.

Във връзка с изучаване и изследване влиянието на водогоривната емулсия върху повърхността, структурата и износването на прецизните елементите е необходимо да бъдат проведени допълнителни изследвания.

Глава II. Планиране и провеждане на натурен експеримент.

Експериментът има за цел да се изследва влиянието на водогоривна емулсия с 50 процентно съдържание на вода, върху прецизните двойки на горивна помпа за високо налягане. Това не е изследвано до момента процентно отношение, т.е. няма данни за проверка на регулировъчни фактори на горивна апаратура при работа на такъв процент емулсия.

Водогоривната емулсията е разработена и предоставена от проф. д-р инж. Милчо Стоянов Ангелов с научна специалност „Механика на флуидите” при Университет по Хранителни Технологии (УХТ) - гр. Пловдив, България. Емулсията е патентована и изследвана в 25 [%] диапазон на съдържание на вода. За целта на изследването на 50 [%] ВГЕ изпълнителят на проекта възложи на подизпълнителя макрорамка от 500 моточаса

ресурс.

ГПВН е предоставена от “ТЕРЕМ - КРЗ ФЛОТСКИ АРСЕНАЛ - ВАРНА” само за осъществяване на изследвания.

Експерименталните 500 моточаса моторресурс на горивна помпа за високо налягане са направени на стенд СТАР - 12, който е оборудван от учебно материалната база на катедра „КСУ”.

Технологичният алгоритъм за провеждане на натурния експеримент е представена на фиг.1. и включва:

- цялостно разглобяване на горивна помпа за високо налягане (ГПВН) от двигател 3Д12, съгласно изискванията на завода производител и експлоатационната инструкция;

- лабораторно измерване на прецизните двойки и отклоненията им от геометричната форма преди експеримента (измерванията са извършени с пасаметър и вятромер с точност 2 микрона [μm]);

- частичен макро анализ и изследване на работната повърхност на буталата под микроскоп с увеличение до 50 пъти и осъществяване на снимки на макро повърхността преди експеримента;

- сглобяване на помпата по технологична последователност, съгласно изискванията на завода производител и експлоатационната инструкция;

- стендоване на помпата с прецизно центроване, съгласно изискванията на завода производител и експлоатационната инструкция;

- прецизен монтаж на помпата за осигуряване на продължителни изпитания, изработване на стойка и съединител за помпата;

- подготовка на стендът и пускането му в действие;

- дозиране на помпата преди началото на експеримента, съгласно изискванията на завода производител и експлоатационната инструкция;

- отработване на 250 моточаса моторресурс при употребата на водогоривна емулсия със съдържание на 50 [%] вода;

- извършване на дозиране на помпата след 250 моточаса работа на водогоривна емулсия;

- отработване на 500 часа моторресурс при употребата на водогоривна емулсия със съдържание на 50 [%] вода;

- извършване на дозиране на помпата след 500 моточаса работа на водогоривна емулсия;

- пълно разглобяване на помпата след достигане на определения моторресурс, съгласно изискванията на завода производител и експлоатационната инструкция;

- прецизно измерване на прецизните двойки и отклоненията им от геометричната форма след експеримента (измерванията са извършени с пасаметър и вятромер с точност 2 микрона [μm]);

- изследване на макро повърхността на буталата под микроскоп с увеличение 50 пъти и направата на снимки след експеримента;

- макро структурен физико-химичен анализ на проба от водогоривна емулсия след провеждане на експеримента;

- обобщаване и анализ на получените резултати.

Целта на експеримента е да бъде установено и оценено влиянието на

Глава III. Разработване на методика и отчитане на резултатите от експеримента.

1. Методика за отчитане на резултатите.

Резултатите от изследванията са систематизирани в табличен и унифициран вид с подходящ за сравнение и онагледяване снимков материал. Базите данни са получени съгласно технологичния алгоритъм на изследването, обработени и регистрирани в следната последователност:

1. Прецизно определяне параметрите на геометричната форма на буталата и цилиндрите на прецизните двойки преди експлоатация на водогоривна емулсия.

2. Заснемане на буталата и цилиндрите на прецизните двойки преди експлоатация на водогоривна емулсия.

3. Дозиране на горивна помпа за високо налягане преди експлоатация на водогоривна емулсия.

4. Дозиране на горивна помпа за високо налягане след експлоатация и отработване на 250 моточаса на водогоривна емулсия.

5. Дозиране на горивна помпа за високо налягане след експлоатация и отработване на 500 моточаса на водогоривна емулсия.

6. Прецизно определяне параметрите на геометричната форма на буталата и цилиндрите на прецизните двойки след експлоатация на водогоривна емулсия.

7. Заснемане на буталата и цилиндрите на прецизните двойки след експлоатация на водогоривна емулсия.

8. Физичен и химичен анализ на водогоривната емулсия за елементи от износване на прецизните двойки.

2. Изследване на прецизните двойки и ВГЕ.

2.1. Технологично измерване на буталата и цилиндрите на прецизните двойки.

Извършени са измервания на прецизните двойки бутало - цилиндър, с пасаметър и индикаторен вътромер. Грешката на приборите е ± 2 [μm].

Преди техническите измервания всяко бутало и всеки цилиндър съгласно процедурата са почистени и обезмаслени, за да не се допусне грешка при измерване.

Буталото е измерено в две равнини в четири сечения. Измерването по сечения е направено от челото на буталото към опашката, а първата равнина на замерването е перпендикулярна на отсичащия канал на буталото. Измерването на буталото и цилиндъра е направено при спазване на константност на параметрите на околната среда. В конкретния случай най-важният е температура на околната среда 20 [°C], за да се избегне влиянието на промяната в размерите от разширения или свивания на детайлите.

При измерване с вътромер се следи каква е стойността, положителна или отрицателна, в показанията на часовниковия индикатор. Измерването на цилиндрите става в две равнини и четири сечения като първото сечение при измерване е в челото на цилиндъра, за да съвпада с това на буталото. Равнината, по която стават първите четири измервания е тази която пресича отворите на

цилиндъра.

2.2. Обработване на резултатите от измерването в базов табличен вид, получени преди експлоатацията на водогоривна емулсия.

Резултатите за буталата и цилиндрите от прецизните двойки са подредени в табличен вид в [mm], който улеснява пресмятането на отклоненията от геометрична форма (Таблицы 1. и 2.)

Таблица.1. Технологична карта на прецизна двойка 1.

Сечение	А-А	Б-Б	В-В	Г-Г	Конус.
Бутало	10,013	10,012	10,014	10,012	0,0010
Бутало 90°	10,014	10,013	10,014	10,013	0,0005
Цилиндър	10,018	10,017	10,018	10,017	0,0005
Цилиндър 90°	10,019	10,018	10,019	10,018	0,0005
Овал Бутало	0,0005	0,0005	0,0000	0,0005	

Таблица.2. Технологична карта на прецизна двойка 2.

Сечение	А-А	Б-Б	В-В	Г-Г	Конус.
Бутало	10,026	10,027	10,028	10,029	0,0015
Бутало 90°	10,025	10,027	10,027	10,028	0,0015
Цилиндър	10,032	10,031	10,033	10,034	0,0015
Цилиндър 90°	10,031	10,032	10,033	10,033	0,0010
Овал Бутало	-0,0005	0,0000	-0,0005	-0,0005	

Измерването е проведено преди и след експлоатацията на ВГЕ.

2.3. Заснемане с помощта на металографски микроскоп.

За анализ на макро повърхността на буталата е използван металографски микроскоп модел 24G250а, намиращ се в заводската лаборатория на “ТЕРЕМ - КРЗ ФЛОТСКИ АРСЕНАЛ - ВАРНА” (фиг.2.).



Фиг.2. Металографският микроскоп, използван при наблюденията.

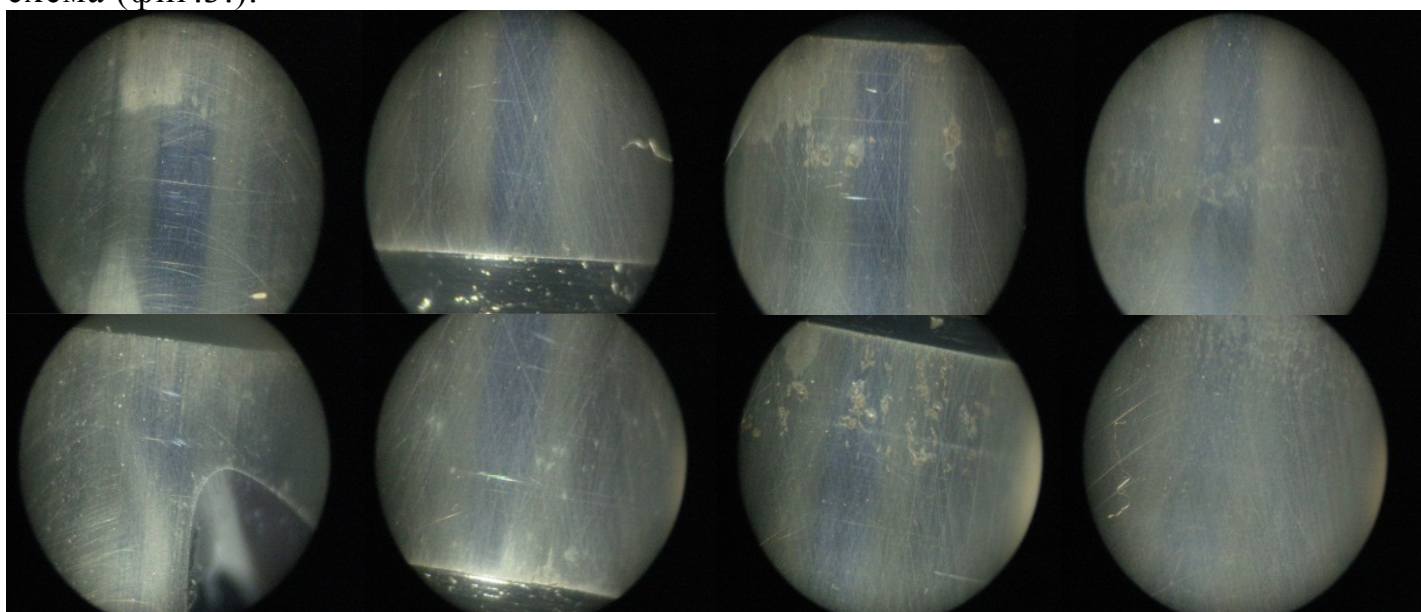
За снимките на макро повърхността е използвано увеличение 50 пъти.

Преди заснемане всяко бутало е почистено и обезмаслено с electro cleaner, за да се наблюдава чист и контрастен образ на повърхността му.

За осветяване на обекта е използван допълнителен източник на светлина, който е необходим за по-качествено заснемане на детайлите с дигиталния фотоапарат.

Всяко едно бутало е заснето така, че да се обхване цялата повърхнина по дължината му, след което е завъртяно на 180° и е заснето отново, така че да се хване цялата му повърхнина по дължина.

Заснемането на буталата е направено в следната последователност; първо е заснето челото на буталцето като първа снимка, като втора и трета снимка е заснета средната част на буталото, и като четвърта снимка е заснета крайната част на работната част на буталото, след това е завъртяно на 180° и е заснето по същата схема (фиг.3.).



Фиг.3. Изображение на повърхността на бутало № 2.

Изследването е проведено преди и след експлоатацията на ВГЕ.

2.4. Дозирание на ГПВН на водогоривна емулсия.

Дозирането на горивна помпа за високо налягане е направено с честота на въртене равна на 0,5 от максималната честота на въртене на двигателя. Двигателите 3Д12 работят с максимална честота на въртене от $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и помпата трябва да се дозира на $750 \text{ [min}^{-1}]$. Изследването е съсредоточено върху пълните стойности на получените показатели, а моментните са фиксирани като константи.

Тест за херметичност на прецизните двойки, момент на подаване на горивото и дозирание са направени след сглобяване и монтиране на стенда в катедра КСУ. Направено е експериментално дозирание на горивна помпа за високо налягане при три режима на работа на стенда - $375 \text{ [min}^{-1}]$, $560 \text{ [min}^{-1}]$, $750 \text{ [min}^{-1}]$, а натоварването е 0 [%], 25 [%], 50 [%], 75 [%], 100 [%]. Помпата е дозирана на стандартно зададените 200 впръсквания.

Отчитането на резултатите при дозирание е извършено по скалата на мензурите като е отчетено количеството ВГЕ във всяка мензура (Табл.3.).

Изследването е проведено преди експлоатацията на ВГЕ, след 250 и след 500 моточаса при същите условия и натоварвания на ГПВН.

Таблица.3. Дозирание на ГПВН.

Честота	Натоварване	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[min ⁻¹]	[%]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]
375	0	1.7	1.8	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.7	1.8	1.8	1.7	1.7
375	25	4.2	4.2	4.3	4.4	4.2	4.2	4.2	4.3	4.2	4.3	4.4	4.4
375	50	12.5	11.5	12.5	13	12.5	12.5	12.5	12.5	11	11	12.5	12
375	75	20	20	19	20	20	18	18	20	18	20	19	19
375	100	26	28	26	26	27	27	27	27	27	27	27	26
560	0	2.1	2.2	2.3	2.2	2.1	2.2	2.2	2.2	2.2	2.3	2.5	2.3
560	25	5.2	5.4	5.3	5.4	5.3	5.3	5.3	5.6	5.4	5.4	5.5	5.5
560	50	15	14	15	15	15	14	14	14	14	15	15	15
560	75	22	23	23	22	23	22	22	23	22	22	22	22
560	100	28	29	29	28	29	28	28	30	29	30	30	28
750	0	4.2	4.3	4.2	4.3	4.2	4.2	4.2	4.1	4.3	4.3	4.2	4
750	25	9	9.2	9	9.2	9	9.1	9.1	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2
750	50	19	19	19	19	18	19	19	19	19	18	18	18
750	75	24	25	25	25	25	24	24	24	25	26	25	23
750	100	32	32	32	32	32	32	32	31	32	32	32	31

2.5. Анализ на водогоривната емулсия за елементи от износване на прецизните двойки.

Определени са пламна точка, плътност, съдържание на вода и механични примеси във водогоривната емулсия след натурния експеримент Изследването на водогоривната емулсия е извършено в лабораторията на “ТЕРЕМ - КРЗ ФЛОТСКИ АРСЕНАЛ - ВАРНА”.

Разработена и изпълнена е методика за провеждане на изследването.

Получените таблици, графики и снимки са достъпни и дават възможност за анализиране и въвеждане в програмни продукти за обработване и визуализиране на резултатите.

Достигнатите резултати систематизирани в бази данни са напълно достатъчни за разработване на основната глава на дисертацията.

Глава IV. Обработка, оценка и анализ на точността на резултатите от натурния експеримент.

1. Статистическа обработка на базата данни.

1.1. Сравнителна таблица с данни за изменение на дозирането на ГПВН при 0, 250 и 500 моточаса и 3D графично и таблично представяне на резултатите.

Основен критерий от експлоатационните фактори е промяна на цикловата порция. Данните от дозирането на цикловите порции са обработени таблично и графично, като е показано изменението на цикловата порция в зависимост от моторесурса и

натоварването. В Таблица 4. и Таблица 5. е показано таблично изменението на цикловата порция след 250 и след 500 моточаса

Таблица 4. Изменение на цикловата порция след 250 моточаса.

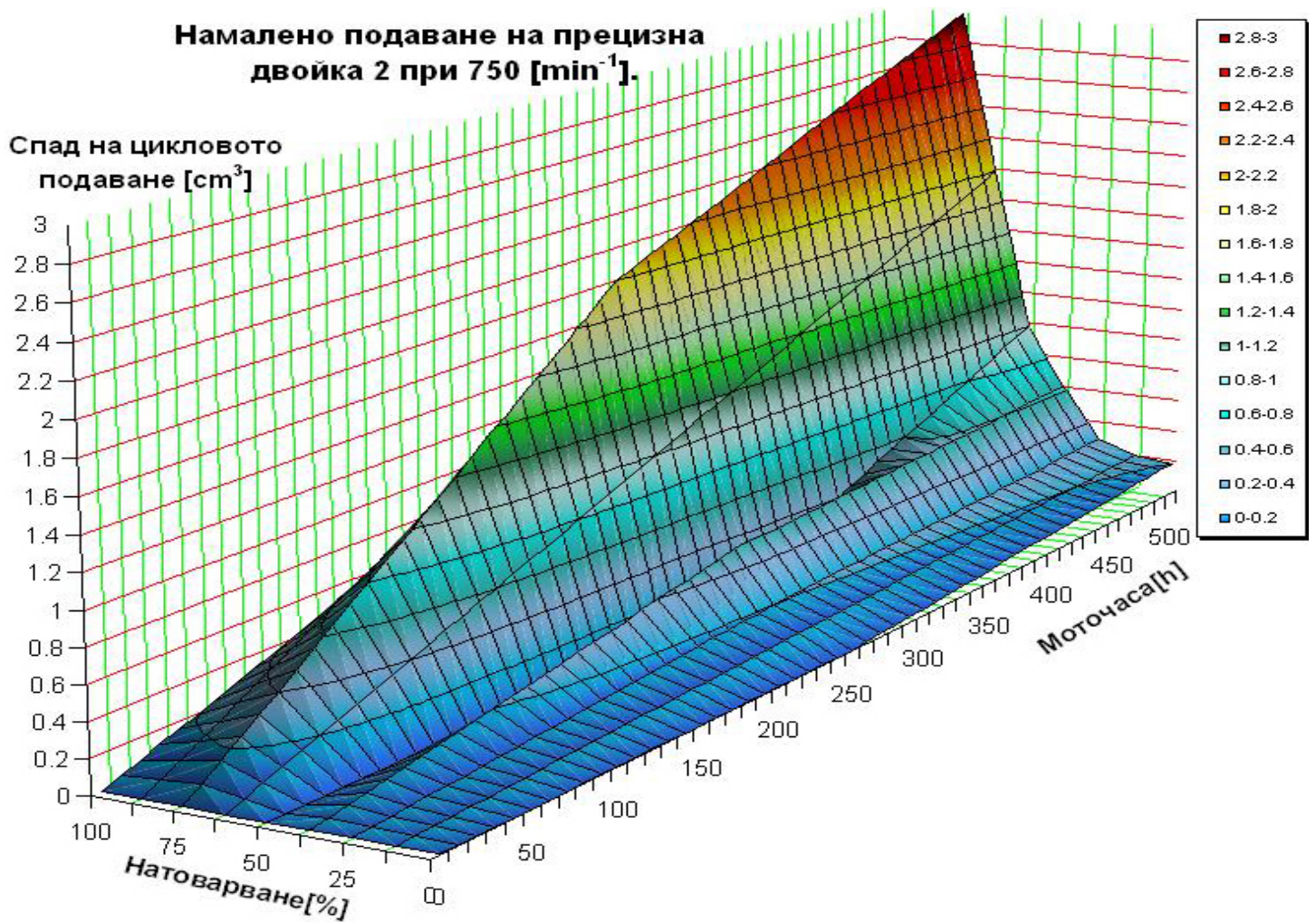
Честота	Натаварване	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[min ⁻¹]	[%]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]
375	0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
375	25	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0
375	50	-0.5	0.0	-0.5	0.0	0.0	-0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.5
375	75	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0
375	100	0.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	0.0
560	0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
560	25	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	0.0	-0.2	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
560	50	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.5	0.0	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-1.0
560	75	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	0.0	-2.0
560	100	0.0	0.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
750	0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-0.2	-0.3	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0
750	25	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.2
750	50	-1.0	0.0	-1.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	-1.0
750	75	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	0.0
750	100	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0

След дозиране на цикловата порция на горивна помпа за високо налягане след 500 моточаса е получено максимално намаляване от 3 [cm³], което е задоволителен резултат, като се има предвид първоначалното състояние на горивна помпа за високо налягане.

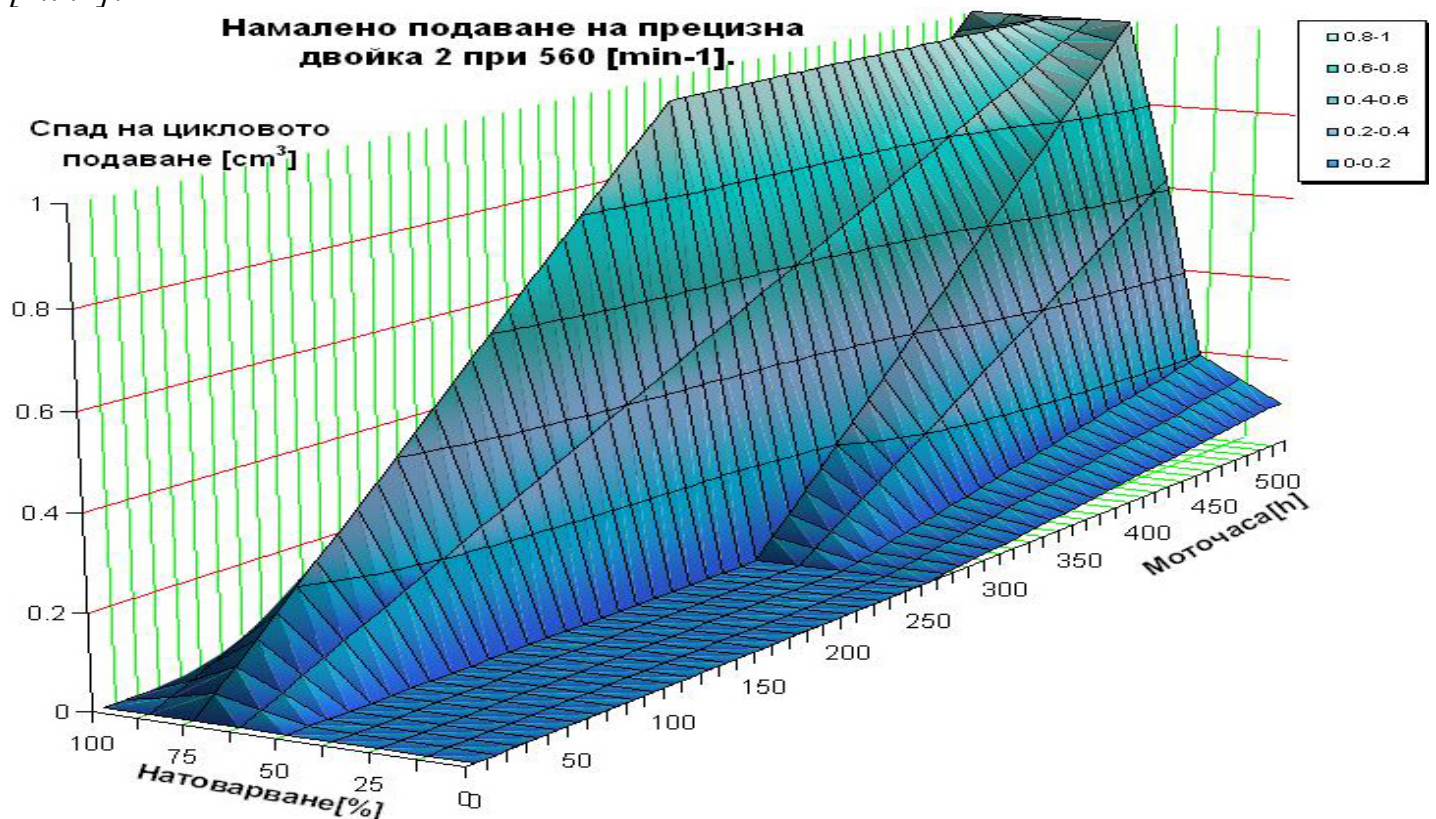
На базата на получените таблични резултати, представени в Таблице 4. и 5., са разработени линейни функции на износването за всяка прецизна двойка в зависимост от натоварването и от оборотите на ГПВН. 3D графични резултати за прецизна двойка 2, 6 и 9, при променливи обороти, са представени на фигури 4. ÷ 8.

Таблица 5. Изменение на цикловата порция след 500 моточаса.

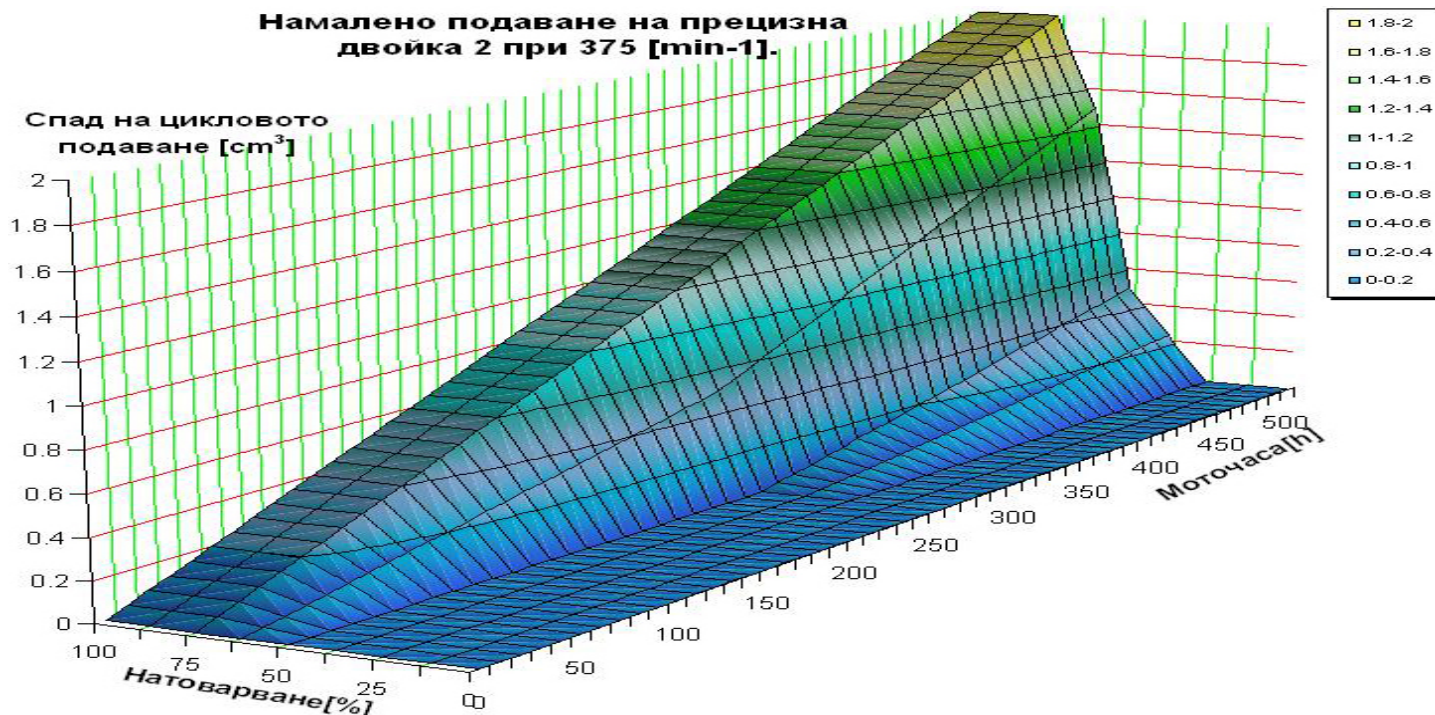
Честота	Натаварване	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
[min ⁻¹]	[%]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]	[cm ³]
375	0	-0.1	0.0	-0.2	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.1
375	25	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.1
375	50	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-0.5	-0.5	-1.0	-0.5	0.0	0.0	-0.5	-1.0
375	75	-1.0	-2.0	0.0	-1.0	-1.0	0.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	-1.0
375	100	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0
560	0	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.1
560	25	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.3
560	50	-1.5	-1.0	-1.5	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-2.0	-1.5	-1.5
560	75	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-2.0
560	100	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0
750	0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2
750	25	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.5	-0.3	-0.3	-0.4	-0.2	-0.3	-0.2	-0.5
750	50	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-2.0	-1.0	-2.0	-1.0	-1.0	-1.0	-2.0
750	75	-2.0	-3.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.0	-2.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-1.0
750	100	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-3.0	-2.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0



Фигура 4. 3D графично изображение на износването на прецизна двойка 2 при 750 [min⁻¹].



Фигура 5. 3D графично изображение на износването на прецизна двойка 2 при 560 [min⁻¹].



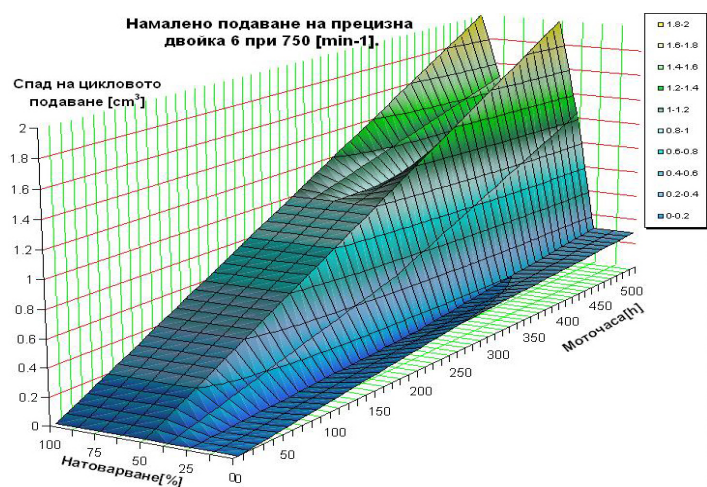
Фигура 6. 3D графично изображение на износването на прецизна двойка 2 при 375 [min⁻¹].

Графичното и табличното представяне на резултатите е реализирано с помощта на Microsoft Office Excel 2010. С тази програма са определени функциите, пресметнати са коефициентите им и са начертани 3D графики на прецизните двойки.

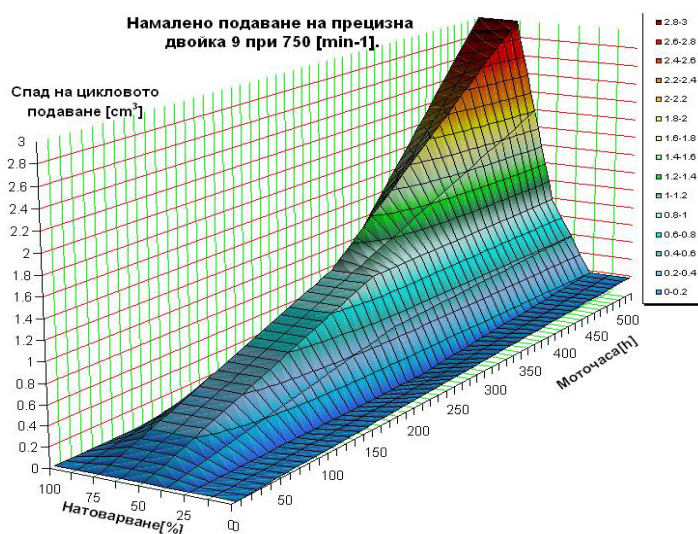
Променливата величина, намаляването на цикловата порция, е представена едновременно във функция от натоварването на помпата и във функция от моторесурса.

Цикловата порция на всяка прецизна двойка е измерена при променливи обороти (750 [min⁻¹], 560 [min⁻¹] и 375 [min⁻¹]) и при променливо натоварване (0 [%], 25 [%], 50 [%], 75 [%] и 100 [%]) при 0, 250 и 500 моточаса работа на помпата.

На фигури 7. и 8. е сравнена зависимостта на износването на прецизна двойка 6 и 9 в кубични сантиметри [cm³]. По оста Z са получените стойностите за изменението на циклова порция на шести и девети цилиндър. По оста X е зададено натоварването на ГПВН в проценти [%], а по Y са зададени моточасове в часове [h].



Фигура 7. 3D графично изображение на износването на прецизна двойка 6 при 750 [min⁻¹].



Фигура 8. 3D графично изображение на износването на прецизна двойка 9 при 750 [min⁻¹].

1.2. Технологични карти с геометрични размери на буталата и цилиндрите преди и след експеримента.

Резултати от извършените измервания преди начало на експеримента и след приключването му за прецизна двойка 1 са представени в [mm] в Таблица 5, а заключителната хлабина в прецизната двойка в [μm] в таблица 6.

Таблица 5. Технологична карта на прецизна двойка

Сечение	Прецизна двойка 1 - 0 моточаса					Прецизна двойка 1 - 500 моточаса				
	А-А	Б-Б	В-В	Г-Г	Конус.	А-А	Б-Б	В-В	Г-Г	Конус.
Бутало	10.013	10.012	10.014	10.012	0.0010	10,011	10,009	10,010	10,011	0,0010
Бутало 90°	10.014	10.013	10.014	10.013	0.0005	10,012	10,009	10,009	10,012	0,0015
Цилиндър	10.018	10.017	10.018	10.017	0.0005	10,020	10,019	10,018	10,019	0,0010
Цилиндър 90°	10.019	10.018	10.019	10.018	0.0005	10,020	10,018	10,019	10,020	0,0010
Овал Бутало	0.0005	0.0005	0.0000	0.0005		0,0005	0,0000	-0,0005	0,0005	
Овал Цилиндър	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005		0,0000	-0,0005	0,0005	0,0005	

Таблица 6. Максимално нарастване на хлабината в прецизните двойки в [μm].

Сечение	А-А	Б-Б	В-В	Г-Г	А-А	Б-Б	В-В	Г-Г
	Прецизна двойка 1				Прецизна двойка 2			
0°	4	5	4	3	2	3	2	3
90°	3	4	5	3	4	4	2	3
	Прецизна двойка 3				Прецизна двойка 4			
0°	3	1	4	3	5	3	2	5
90°	3	2	3	4	4	2	3	4
	Прецизна двойка 5				Прецизна двойка 6			
0°	3	0	2	4	1	1	2	3
90°	3	2	4	3	3	4	4	3
	Прецизна двойка 7				Прецизна двойка 8			
0°	3	4	5	6	2	3	5	5
90°	6	4	5	4	4	2	1	2
	Прецизна двойка 9				Прецизна двойка 10			
0°	5	4	2	7	5	2	4	5
90°	5	6	4	6	6	2	3	4
	Прецизна двойка 11				Прецизна двойка 12			
0°	5	3	4	3	3	4	0	1
90°	5	4	5	3	5	4	2	5

1.3. Математичен модел за пресмятане на тегловна загуба на прецизна двойка, отработила 500 моточаса на водогоривна емулсия в програмна среда Mathcad 15.

Изчисляването на тегловните загуби се свежда до изчисляването на обема им чрез измерване на съответните геометричните показатели с отчитане на факторите елиптичност и конусност.

Измерванията са стандартни като прецизните двойки са разделени на две равнини радиално и четири равнини аксиално, по които се извършват измерванията. Преди да бъдат измерени размерите им, прецизните двойки са демонтирани и прецизно почистени и обезмаслени.

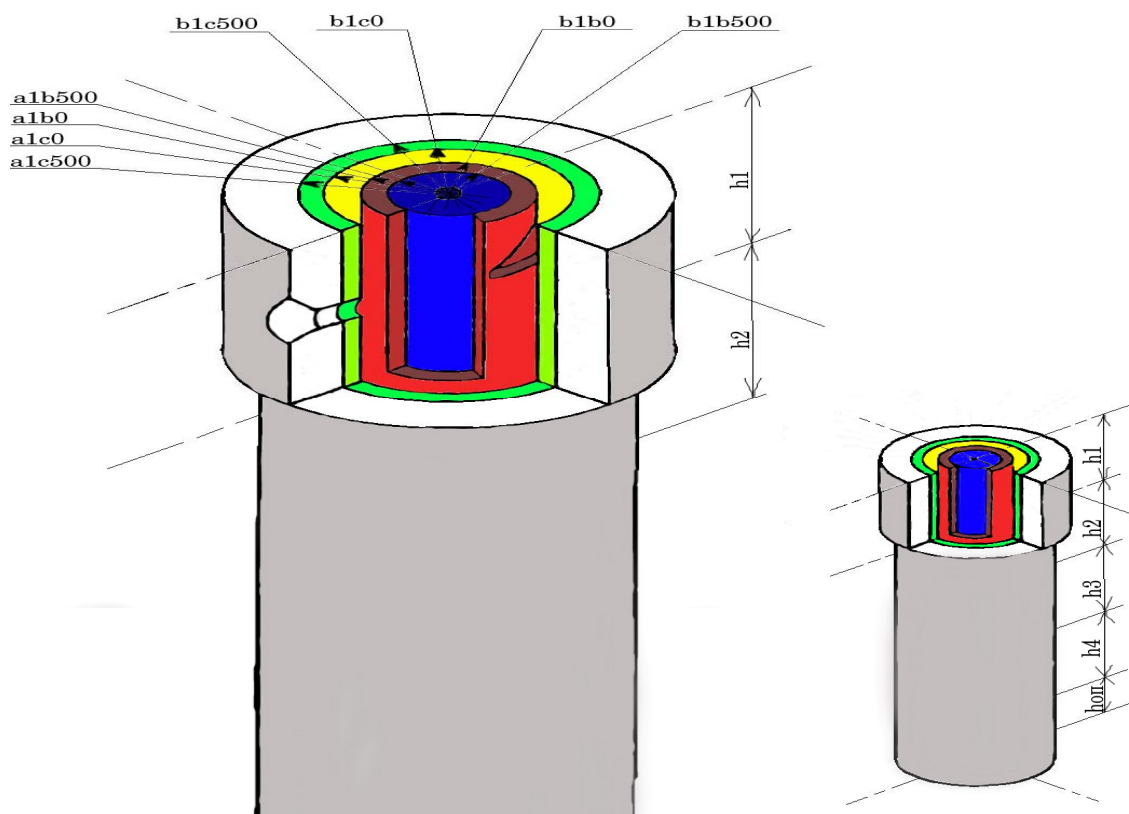
Измервания са направени преди започването на експеримента при 0 моточаса

работа с водогоривна емулсия и след края на експеримента при 500 моточаса работа с водогоривна емулсия.

За улеснение, е създаден работен чертеж визуализиращ необходимите данни (фиг. 9.), а самите данните са подредени в Таблица 7.

На изображението е използван следния цветови код:

- жълто - начална хлабина в прецизната двойка;
- червено-кафяв - пръстеновидно износване на буталото;
- зелен - пръстеновидно износване на цилиндъра;
- син - бутало след експеримента;
- бял - цилиндър след експеримента;



Фигура 9. Работен чертеж на прецизна двойка.

Таблица 7. Данни за математичния модел.

a1c0=	10.018 mm
b1c0=	10.019 mm
a1b0=	10.013 mm
b1b0=	10.014 mm
h1=	12.200 mm
a1c500=	10.020 mm
b1c500=	10.020 mm
a1b500=	10.011 mm
b1b500=	10.012 mm

a3c0=	10.018 mm
b3c0=	10.019 mm
a3b0=	10.014 mm
b3b0=	10.014 mm
h3=	12.200 mm
a3c500=	10.018 mm
b3c500=	10.019 mm
a3b500=	10.010 mm
b3b500=	10.009 mm

a2c0=	10.017 mm
b2c0=	10.018 mm
a2b0=	10.012 mm
b2b0=	10.013 mm
h2=	12.200 mm
a2c500=	10.019 mm
b2c500=	10.018 mm
a2b500=	10.009 mm
b2b500=	10.009 mm

a4c0=	10.017 mm
b4c0=	10.018 mm
a4b0=	10.012 mm
b4b0=	10.013 mm
h4=	12.200 mm
a4c500=	10.019 mm
b4c500=	10.020 mm
a4b500=	10.011 mm
b4b500=	10.012 mm

Алгоритъмът за пресмятането започва с пресмятането на обема на хлабината между буталото и цилиндъра преди експеримента за първото сечение на прецизната двойка.

Обемът при 0 моточаса работа на водогоривна емулсия (V_{10}) за първото сечение се пресмята по зависимост 1., където всички означения се взимат от фиг. 9. и Табл. 7.

$$V_{10} = h_1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [(a_{1c0} \cdot b_{1c0}) - (a_{1b0} \cdot b_{1b0})] \quad (1.)$$

Пресмятането на обема на хлабината между буталото и цилиндъра след експеримента ($V1500$) за първото сечение на прецизната двойка се пресмята по зависимостта 2., където всички означения се взимат от фиг. 9. и Табл. 7.

$$V1500 = h1 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [(a1c500 \cdot b1c500) - (a1b500 \cdot b1b500)] \quad (2.)$$

Разликата между крайния ($V1500$) и началния обем ($V10$) се явява обемната хлабина на прецизната двойка за сечение едно ($V1$) или зависимост 3.

$$V1 = V1500 - V10 \quad (3.)$$

Изгубената маса в сечение едно ($M1$) от износването се пресмята по зависимост 4., където ρ е плътността на износения материал.

$$M1 = \rho \cdot V1 \quad (4.)$$

Плътността на инструментална стомана ШХ15 е $7.812 \text{ [mg/mm}^3\text{]}$ при $20 \text{ [}^\circ\text{C]}$ – ГОСТ 801 - 78. По този алгоритъм се пресмята тегловното износване на прецизната двойка в първото и сечение. Пресмятането за второ, трето и четвърто сечение е аналогична на първото.

Общата тегловна загуба M (зависимост 5.) е сума от отделните загуби в четирите сечения.

$$M = M1 + M2 + M3 + M4 \quad (5.)$$

Поради еднаквата твърдост на буталото и цилиндъра се приема, че износването на двата елемента е еднакво, откъдето масовото износване на буталото (Mb) и цилиндъра (Mc) се представя със зависимост 6.

$$Mb = Mc = \frac{M}{2} \quad (6.)$$

Посоченият алгоритъм е реализиран с Mathcad 15 и приложен за останалите дванадесет прецизни елемента. Резултатите са обработени таблично и графично.

За всяка прецизна двойка е изработен идентична форма в отделен Mathcad документ.

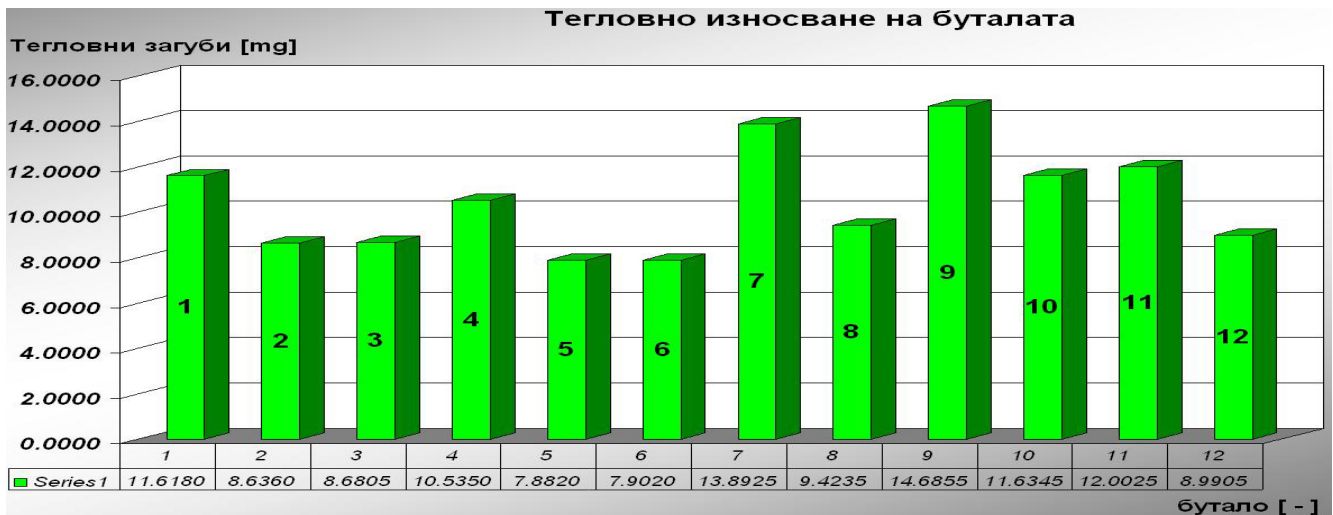
Алгоритъмът е приложен за всички прецизни елементи и са получени следните резултати за тегловните загуби (Таблица 8.).

На фигури 10., 11. и 12. е представено решението и стойностите на износване на тегловния алгоритъм. На бар - грамите е разкрито износването на всяко бутало, всеки цилиндър и всички прецизни двойки в милиграма [mg].

Таблица 8 Тегловни загуби

	[g]	[mg]	[karat]
Mb1=Mc1	0.0116	11.6180	0.0581
M1	0.0232	23.2360	0.1162
Mb2=Mc2	0.0086	8.6360	0.0432
M2	0.0173	17.2720	0.0864
Mb3=Mc3	0.0087	8.6805	0.0434
M3	0.0174	17.3610	0.0868
Mb4=Mc4	0.0105	10.5350	0.0527
M4	0.0211	21.0700	0.1054
Mb5=Mc5	0.0079	7.8820	0.0394
M5	0.0158	15.7640	0.0788
Mb6=Mc6	0.0079	7.9020	0.0395
M6	0.0158	15.8040	0.0790

	[g]	[mg]	[karat]
Mb7=Mc7	0.0139	13.8925	0.0695
M7	0.0278	27.7850	0.1389
Mb8=Mc8	0.0094	9.4235	0.0471
M8	0.0188	18.8470	0.0942
Mb9=Mc9	0.0147	14.6855	0.0734
M9	0.0294	29.3710	0.1469
Mb10=Mc10	0.0116	11.6345	0.0582
M10	0.0233	23.2690	0.1163
Mb11=Mc11	0.0120	12.0025	0.0600
M11	0.0240	24.0050	0.1200
Mb12=Mc12	0.0090	8.9905	0.0450
M12	0.0180	17.9810	0.0899



Фигура 10. Изображение на бар-грама на тегловно износване на буталата от прецизните двойки в милиграма [mg].



Фигура 11. Изображение на бар-грама на тегловно износване на цилиндрите от прецизните двойки в милиграма [mg].



Фигура 12. Изображение на бар-грама на общото тегловно износване на прецизните двойки в милиграма [mg].

Всички получени, събрани, пресметнати, таблично и графично представени данни от реалния експеримент са подредени и статистически обработени в таблици, графики, бар-грами, 2D и 3D изображения и снимки.

Така оформената база данни подпомага прецизния анализ на получените резултати

и по-лесно отчитане на точността им.

2. Анализ на точността на резултатите.

Изпитанията на горивна помпа за високо налягане с водогоривната емулсия започна на 15.06.2011г. и на 18.02.2012г. приключи, след като са достигнати планираните 500 работни моточаса, при честота на въртене $n = 750 \text{ [min}^{-1}\text{]}$.

През този период не са забелязани промени в звука на работа на изпитваната помпа, нито вибрации, което е един от критериите за нормална работа.

2.1. Анализ на резултатите и точността от дозирането на ГПВН.

Дозирането при 0, 250 и 500 моточаса е повторено по три пъти за отчитане на еднакви показания.

Измервателните мензури са градуирани през $0.1 \text{ [cm}^3\text{]}$ от 0 до $15 \text{ [cm}^3\text{]}$ и през $1 \text{ [cm}^3\text{]}$ от $15 \text{ [cm}^3\text{]}$ до $40 \text{ [cm}^3\text{]}$, което позволява прецизно отчитане до $0.1 \text{ [cm}^3\text{]}$. Следователно грешката при отчитането е $\pm 0.1 \text{ [cm}^3\text{]}$ или 3.125 [%] .

Намаляването на цикловата порция с $0 \div 3 \text{ [cm}^3\text{]}$ показва, че се наблюдава износване вследствие на експлоатацията на ГПВН на ВГЕ.

Построените 3D графики разкриват сходство във функциите и постепенно износване на прецизните елементи, в зависимост от натоварването на помпата и от отработването на моточасовете.

Максималното намаляване на цикловата порция варира $1 \div 3 \text{ [cm}^3\text{]}$ или $3.125 \div 9.375 \text{ [%]}$.

За отчитане намаляването на цикловата порция на помпата е пресметнат относителният коефициент на подаване на помпата (K_v).

При максимално подаване на помпата ($h_a = 2.2 \text{ [mm]}$) е пресметнат теоретичният дебит на всяка една прецизна двойка (V_T), както и относителният коефициент на подаване на помпата преди натурния експеримент ($K_v 0$) и след 500 моточаса ($K_v 500$).

Пресметнат е средният относителен коефициент на подаване на помпата за всички прецизни двойки преди и след експеримента. Резултатите за $K_v 0$ и $K_v 500$ са онагледени на фигура 13.



Бутало [№]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
■ $K_v, 500h \text{ [%]}$	86.5	86.3	85.2	85.9	86.3	85.9	83.3	82.7	82.9	83.4	83.5	83.7
■ $K_v, 0h \text{ [%]}$	92.3	92.0	90.8	91.6	92.0	91.6	91.9	88.4	91.4	92.0	92.1	89.5

Фигура 13. Изображение на изменението на K_v .

На фигурата се забелязва намаляване на K_v след експеримента, което свидетелства за увеличаване на утечките в прецизните двойки.

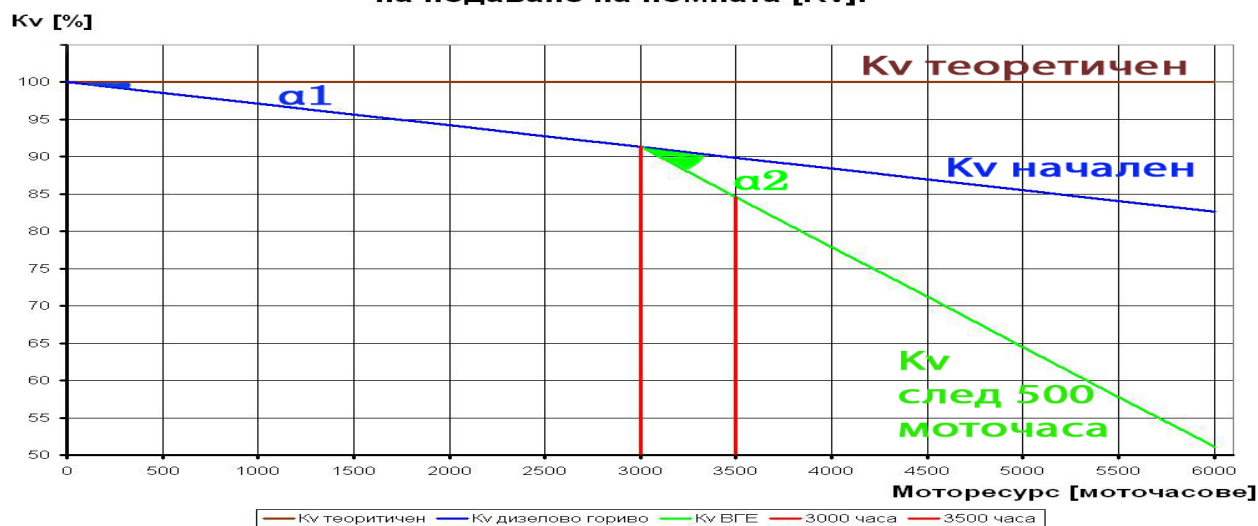
На фигура 14. е представена промяната на K_v за 500 моточаса, началният K_v чрез синята линия и ъгъл α_1 и крайния K_v чрез зелената линия и ъгъл α_2 .

Ъглите α_1 и α_2 са пресметнати, както е пресметнато и тяхното отношение.

$$\alpha_1 = \arctan((100-82.6)/6000) = 0.166^\circ \quad / = (\alpha_2 + \alpha_1) / \alpha_1 = 4.024$$

$$\alpha_2 = \arctan((91.3-51.1)/3000) - \alpha_1 = 0.502^\circ$$

Изменение на относителният коефициент на подаване на помпата [K_v].



Фигура 14. Изображение на промяната на K_v за 500 моточаса.

След внимателно анализиране на функциите на износване и относителния коефициент на подаване на помпата, може да се определи, че прецизните двойки са достигнали средно 90 [%] от собствения си моторесурс. Като се отчете, че първоначалното им състояние е било на около 60 [%], може да се твърди, че вследствие на експлоатацията им на ВГЕ, максималното износване е около 30 [%].

Средният относителен коефициент на подаване на помпата (K_v) за всички прецизни двойки от 91.3 [%], става 84.6 [%] и намалява с 5.9 [%].

Нормалното износване при експлоатация на дизелово гориво за 500 моточаса е около 1.5 [%], според техническата документация на ГПВН.

След края на експеримента прецизните двойки все още имат запас от 10 [%] до достигане на 100 [%] износване и до разкомплектоването им.

2.2. Анализ на резултатите и точността от геометричното измерване.

Извършени са измервания на прецизните двойки, бутало - цилиндър, с пасаметър и индикаторен вътромаер. Грешката на приборите е ± 2 [μm]. Поради изключително малките хлабини в прецизните двойки (за нови двойки работните хлабини са от 2 [μm] до 3 [μm], а хлабина от 10 [μm] се смята за пределно допустима и след това двойката се бракува) и голямата грешка на прибора ± 2 [μm], от направените измервания може да се направи оценка единствено и само за наличието на евентуално катастрофално износване. От направените замери става ясно че катастрофално износване няма, измерено е максимално износване от порядъка на $5 \div 7$ [μm]. Според техническа документация скоростта на износване на прецизната двойка е средно 1 [μm] на всеки 1000 моточаса с изразен линеен характер, следователно за 500 моточаса очакваното износване е около 0,5 [μm].

Оказва се, че точността на приборите не е напълно достатъчна за еднозначно определяне на това дали скоростта на износване е нормална или имаме ускорено

износване, също така дали отклоненията от геометрична форма са в допустимите норми или не. Въпреки това замерите показват еднозначно, че няма катастрофално износване ($\geq 10,4 \text{ [}\mu\text{m]}$) и разликите в отклоненията от геометрична форма са в границите на грешката на приборите.

Разликите в измерените хлабини между буталата и цилиндрите в начало и в края на експеримента са $3 \div 6 \text{ [}\mu\text{m]}$. Измерените отклонения от геометрична форма в началото на експеримента са $0,5 \div 1,5 \text{ [}\mu\text{m]}$, а в края на експеримента $0,5 \div 2,5 \text{ [}\mu\text{m]}$.

На базата на осреднени стойности от Таблицы 4. и 5. и пренебрегване на грешката на измервателните прибори от $\pm 2 \text{ [}\mu\text{m]}$ е съставена Таблица 9. и са построени графични изображения 15., 16. и 17. съответно за прецизна двойка едно, две и девет.

Таблица 9. Ускорено износване.

-	[μm]	[μm]	[μm]	[часове]	[μm]	[μm]	[часове]	[часове]	К инт.изн.
1	3.000	4.875	1.875	1875	8.500	5.500	5500	3625	7.25
2	3.000	5.625	2.625	2625	8.125	5.125	5125	2500	5.00
3	3.000	6.500	3.500	3500	9.375	6.375	6375	2875	5.75
4	3.000	5.875	2.875	2875	9.375	6.375	6375	3500	7.00
5	3.000	6.000	3.000	3000	8.625	5.625	5625	2625	5.25
6	3.000	6.250	3.250	3250	8.875	5.875	5875	2625	5.25
7	3.000	5.725	2.725	2725	10.375	7.375	7375	4650	9.30
8	3.000	5.725	2.725	2725	8.750	5.750	5750	3025	6.05
9	3.000	5.500	2.500	2500	10.375	7.375	7375	4875	9.75
10	3.000	5.725	2.725	2725	9.625	6.625	6625	3900	7.80
11	3.000	5.375	2.375	2375	9.375	6.375	6375	4000	8.00
12	3.000	5.835	2.835	2835	8.875	5.875	5875	3040	6.08
Средно аритметичен коефициент на ускорено износване е							6.873	пъти.	1.310
Средно квадратичен коефициент на ускорено износване е							7.040	пъти.	1.531

В Таблица 9. е представено началното състояние на хлабината в двойката в [μm], предвидена начална хлабина в [μm], началното износване в [μm], предвидените начални часове на двойката при нормална експлоатация в [h], крайната хлабина в [μm], крайното износване в [μm], крайните часове в [h], натрупаните условни часове при износването в [h]. Последната графа включва пресмятането на коефициента на износването, в сравнение с нормално износване.

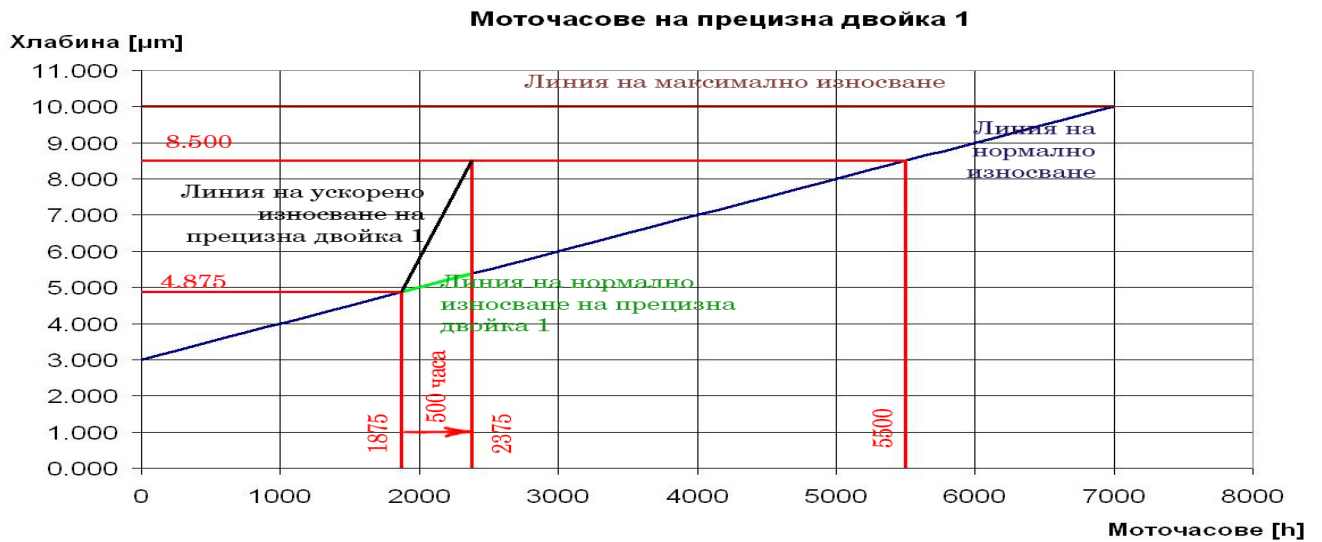
Пресметнат е средно квадратичният коефициент на ускорено износване, който е 7.040 за всички прецизни елементи.

Данни за прецизна двойка 7 и 9 показват че, са негодни при пренебрегване на грешката на измерването, тъй като са преминали допустимото износване.

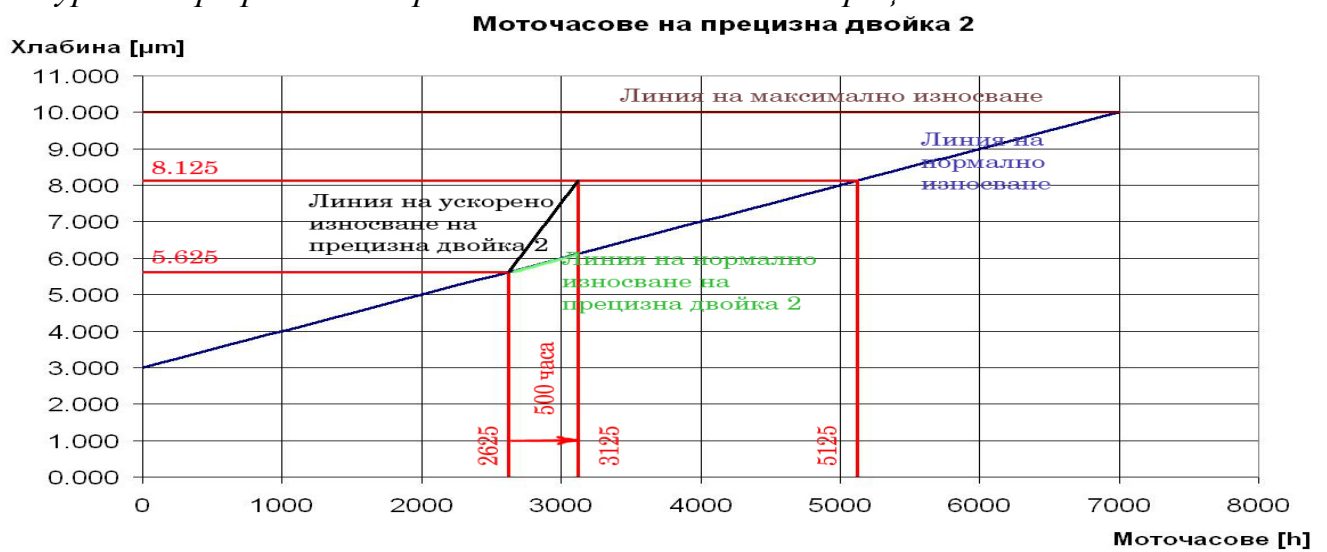
На фигура 15. е представено графично нормално и ускорено износване на прецизна двойка 1 вследствие работата на ВГЕ. На основание измерената хлабина (начална - $4.875 \text{ [}\mu\text{m]}$ и крайна - $8.500 \text{ [}\mu\text{m]}$) в двойката и пренебрегнатата грешка от измерването от $\pm 2 \text{ [}\mu\text{m]}$ са нанесени линии с червен цвят. След като се засекат с линията на нормалното износване (синя) се получават линиите на часовете на началното (1875 моточаса) и крайното (5500 моточаса) състояние на двойката.

След построяване на линията на „плюс“ 500 работни моточаса на ВГЕ се определя линията на нормално износване (в зелено) и линията на ускорено износване (в черно) на прецизна двойка 1.

Отношението на дължината на черната линия към зелената линия представлява коефициента на ускорено износване, който е 7.25 и съответства на първи ред в Табл. 9.



Фигура 15. Графично изображение на износване на прецизна двойка 1.



Фигура 16. Графично изображение на износване на прецизна двойка 2.



Фигура 17. Графично изображение на износване на прецизна двойка 9.

За прецизна двойка 2 изработването на графиката е аналогично (фигура 16.). При нея отношението на двете линии е 5.00 и съответства на ред втори от Таблица 9.

За прецизна двойка 9 изработването на графиката е аналогично (фигура 17.). При нея отношението на двете линии е 9.75 и съответства на ред девет от Таблица 9., като на

фигурата се вижда, че прецизната двойка е надвишила линията на максимално допустимото износване.

2.3. Анализирани резултати и точността от математично пресмятане на тегловната загуба.

На базата на табличните и графични резултати за тегловните загуби се определя, че износването на прецизните двойки варира $15 \div 30$ [mg] или $0,075 \div 0,150$ тегловни карата. Буталата имат тегловна загуба $7 \div 15$ [mg] или $0,035 \div 0,075$ тегловни карата. Цилиндриите имат тегловна загуба $7 \div 15$ [mg] или $0,035 \div 0,075$ тегловни карата.

Грешката от измерването на геометричните размери ± 2 [μm] влияе на пресмятането незначително. Нейната стойност е ± 0.006 [mg] или около 0.02 [%], което прави данните от предложения модел изключително ценни за експеримента.

Представената методика дава точни резултати каквито не могат да бъдат постигнати с конвенционалните методи и електронна везна със специален клас на точност.

Достигнато е до данни за тегловно износване на прецизните елементи, които могат да се измерят само с везна със специален клас на точност.

Разработен е математичен модел на Mathcad 15, в който са въведени стойности на износвания и хлабини, характерни за нормално износване при работа на дизелово гориво.

Като резултат е получено, че след 500 моточаса работа на дизелово гориво прецизната двойка трябва да има тегловна загуба 3.0 [mg] или 0.015 карата, а буталото - 1.5 [mg] и цилиндъра - 1.5 [mg].

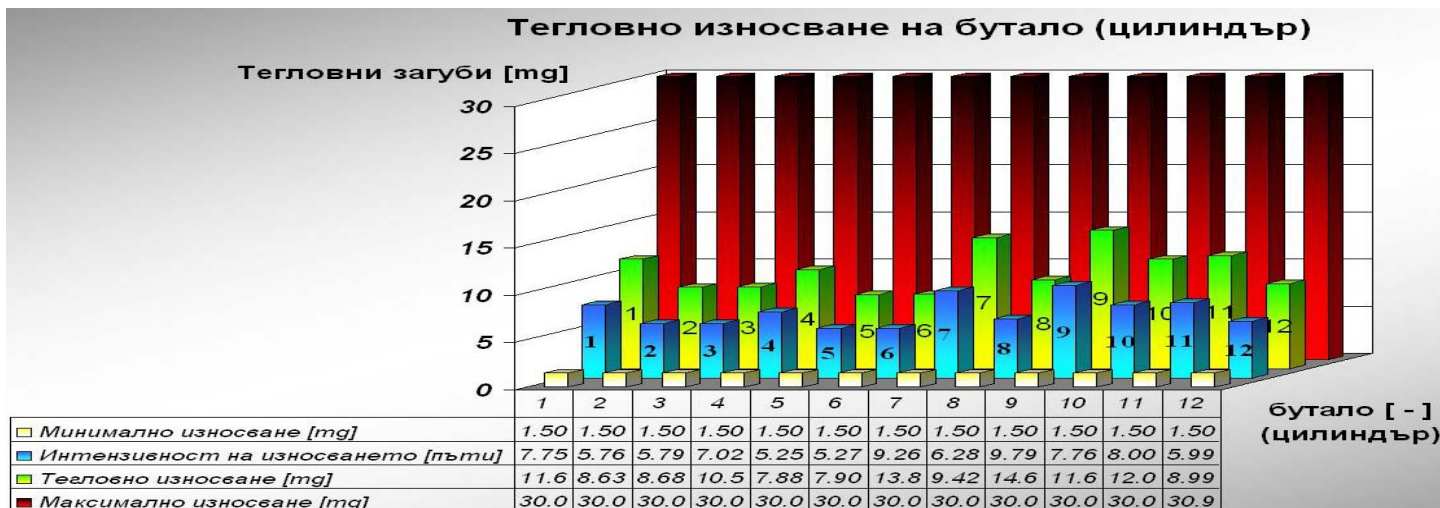
Разработен е друг математичен модел на Mathcad 15, в който е пресметнато максималното тегловно износване на една прецизна двойка от началото на експлоатацията и (от чисто нова) до крайното и износване при работа на дизелово гориво.

Като резултат е изчислено, че максималните тегловни загуби на прецизна двойка е 60 [mg] или 0.3 карата, на бутало е 30 [mg] или 0.15 карата, а на цилиндъра е 30 [mg] или 0.15 карата.

Определянето на тегловните загуби при работа на ВГЕ към тегловните загуби при работа на дизелово гориво (фигури 18. и 19.) разкрива коефициента на износването при работа на ГПВН на ВГЕ.



Фигура 18. Тегловно износване на прецизна двойка.



Фигура 19. Тегловно износване на прецизна бутало (цилиндър).

Коефициентът на износването на всички прецизни двойки е графически изобразен на фиг. 15. и варира $5.26 \div 9.80$

Коефициентът на износването на всички бутала и цилиндри е графически изобразен на фиг. 16. и варира $5.25 \div 9.80$.

Средният квадратичен коефициент на износване за експеримента е 7.15. Тази стойност потвърждава данните за количеството и скоростта на износване от другите изследвания.

Водогоривна емулсия със съдържание на вода 50 [%] износва сериозно прецизните елементи на ГПВН (седем пъти по-бързо), което дава основания за внимателно продължаване на изследванията на влиянието на водогоривна емулсия върху други възлови агрегати от КДД.

2.4. Сравнителен анализ на резултатите от дозирането, геометричното измерване и тегловната загуба.

След направените анализи на резултатите и точността на метода на изследване чрез дозиране (глава 4, точка 2.1.), метода на изследване чрез техническо измерване на геометричните размери (глава 4, точка 2.2.), и метода на изследване чрез определяне на тегловна загуба (глава 4, точка 2.3.) е необходимо да се направи сравнителен анализ на получените резултати от трите метода и да се отбележи минималната и максимална разлика между стойностите им (Таблица 10.).

В Таблица 10 са представени средно аритметичната и средно квадратичната грешка на метода на изследване чрез дозиране, метода на изследване чрез техническо измерване на геометричните размери, и метода на изследване чрез определяне на тегловна загуба. Построена е диаграма (фигура 20.), на която са представени минималната и максималната разлика между числените стойности на методите на изследване и самите стойности на метода на отчитане на износването чрез дозиране, метода на отчитане на износването чрез технологично измерване на геометричните размери, и метода на отчитане на износването чрез определяне на тегловните загуби.

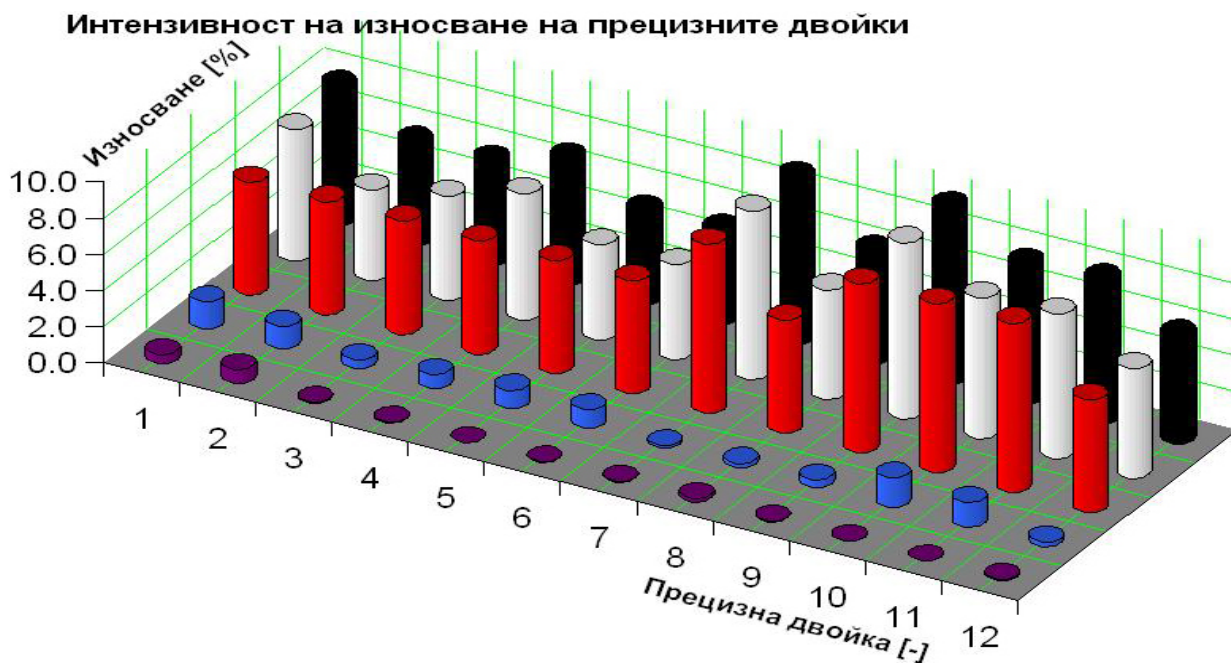
Резултатите от сравнителния анализ показват, че получените резултати от три различни метода на изследване се доближават един до друг по стойност (максимално отклонение 1.603 [-]). Това показва, че резултатите за изследвания обект са с много висока прецизност.

Резултатите от Таблица 10. и фигура 20. доказват, че интензивността на износване

на прецизните двойки при работа на ВГЕ е седем пъти по-висока в сравнение същата на дизелово гориво.

Таблица 10. Сравнение на резултати от приложените изследователски методи.

Бутало Номер	Анализ от дозирането		Анализ от замера		Тегловен анализ		Минимална разлика между стойностите на трите метода	Максимална разлика между стойностите на трите метода	
	Средно аритметич на грешка [%]	Средно квадратич на грешка [%]	Средно аритметич на грешка [%]	Средно квадратич на грешка [%]	Средно аритметич на грешка [%]	Средно квадратич на грешка [%]			
1	6.250	39.063	7.250	52.563	7.751	60.078	0.501	1.501	
2	6.250	39.063	5.000	25.000	5.761	33.189	0.761	1.250	
3	6.250	39.063	5.750	33.063	5.791	33.536	0.041	0.500	
4	6.250	39.063	7.000	49.000	7.028	49.393	0.028	0.778	
5	6.250	39.063	5.250	27.563	5.258	27.647	0.008	1.000	
6	6.250	39.063	5.250	27.563	5.272	27.794	0.022	1.000	
7	9.375	87.891	9.300	86.490	9.268	85.896	0.032	0.107	
8	6.250	39.063	6.050	36.603	6.287	39.526	0.200	0.237	
9	9.375	87.891	9.750	95.063	9.797	95.981	0.047	0.422	
10	9.375	87.891	7.800	60.840	7.772	60.404	0.028	1.603	
11	9.375	87.891	8.000	64.000	8.007	64.112	0.007	1.375	
12	6.250	39.063	6.080	36.966	5.998	35.976	0.082	0.252	
		7.292	7.439	6.873	7.040	6.999	7.150		
		1.389	1.472	1.310	1.531	1.271	1.470		



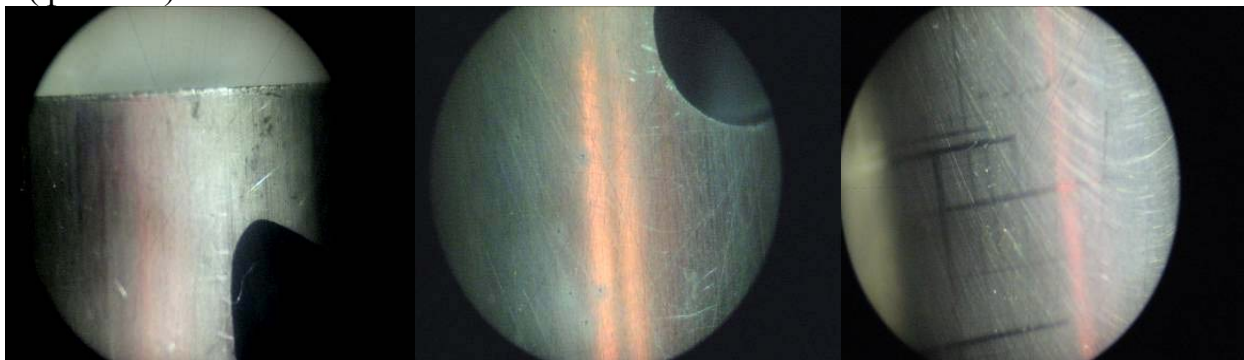
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
■ Мин. разлика [-]	0.501	0.761	0.041	0.028	0.008	0.022	0.032	0.200	0.047	0.028	0.007	0.082
■ Макс. разлика [-]	1.501	1.250	0.500	0.778	1.000	1.000	0.107	0.237	0.422	1.603	1.375	0.252
■ Метод дозиране [-]	6.250	6.250	6.250	6.250	6.250	6.250	9.375	6.250	9.375	9.375	9.375	6.250
□ Метод техн. изм-не [-]	7.250	5.000	5.750	7.000	5.250	5.250	9.300	6.050	9.750	7.800	8.000	6.080
■ Тегловен метод [-]	7.751	5.761	5.791	7.028	5.258	5.272	9.268	6.287	9.797	7.772	8.007	5.998

Фигура 20. Графика показваща разликите на резултатите от приложените изследователски методи.

2.5. Частичен макроструктурен анализ на повърхността на буталата, преди и след експеримента.

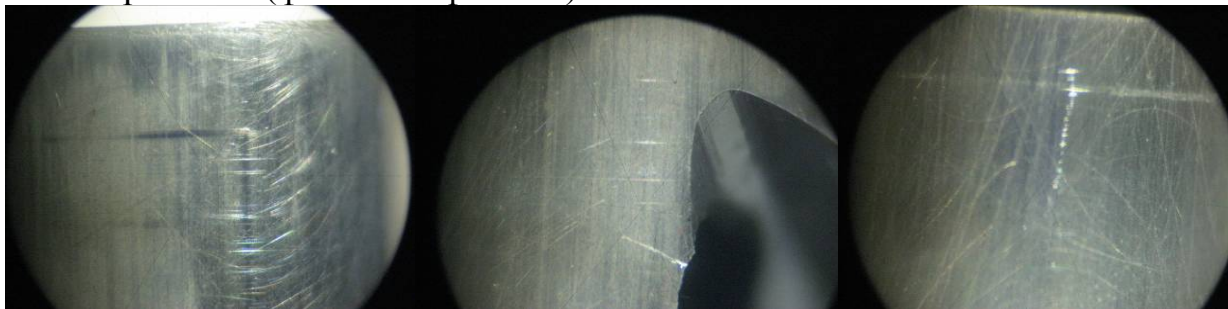
На металографски микроскоп са направени снимки на макро повърхността на всички бутала в началото и в края на експеримента.

Направени са и снимки на макро повърхнината на едно ново неупотребявано бутало (фиг. 21.).

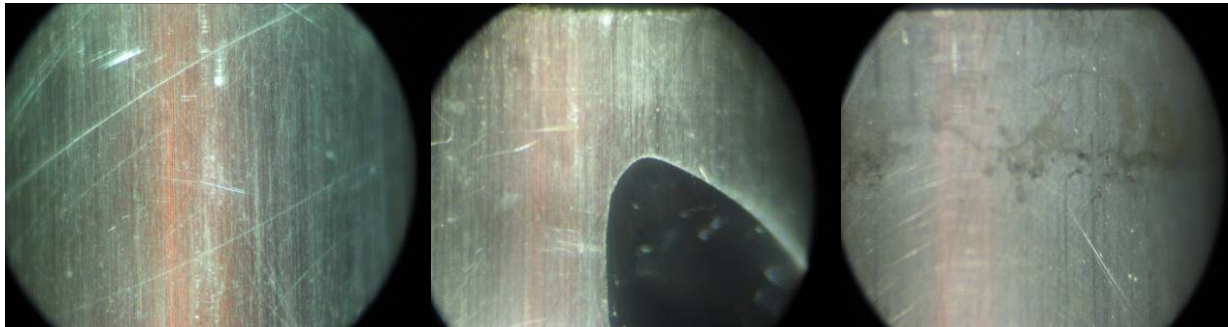


Фиг. 21. Снимки на макро повърхност на ново бутало .

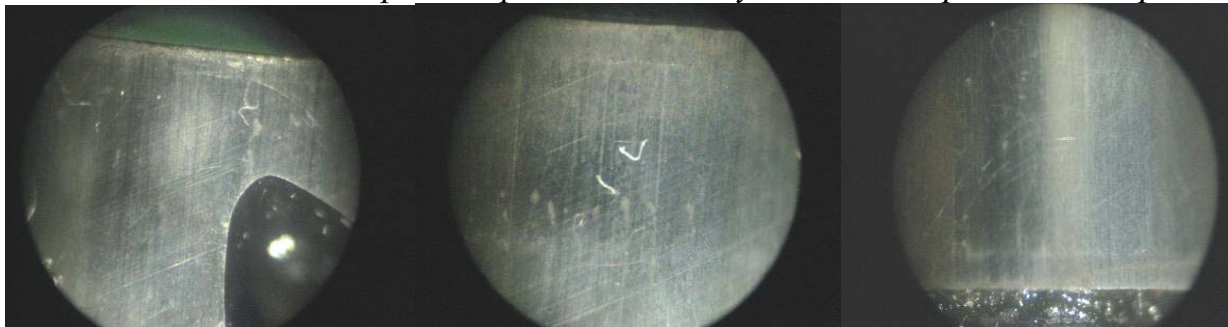
За сравнение са предложени част от снимките направени на буталата в началото и края на експеримента (фиг. 22. ÷ фиг. 27.):



Фиг. 22. Снимки на макро повърхността на бутало 1 – в началото на експеримента.



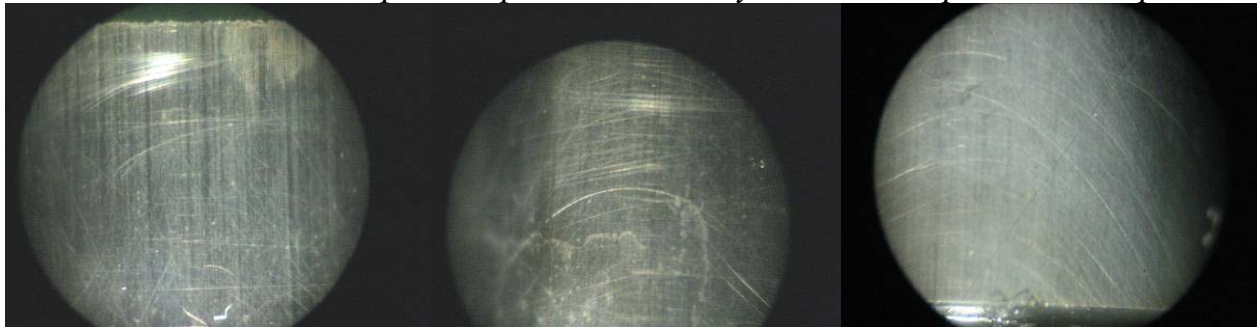
Фиг. 23. Снимки на макро повърхността на бутало 1 – в края на експеримента.



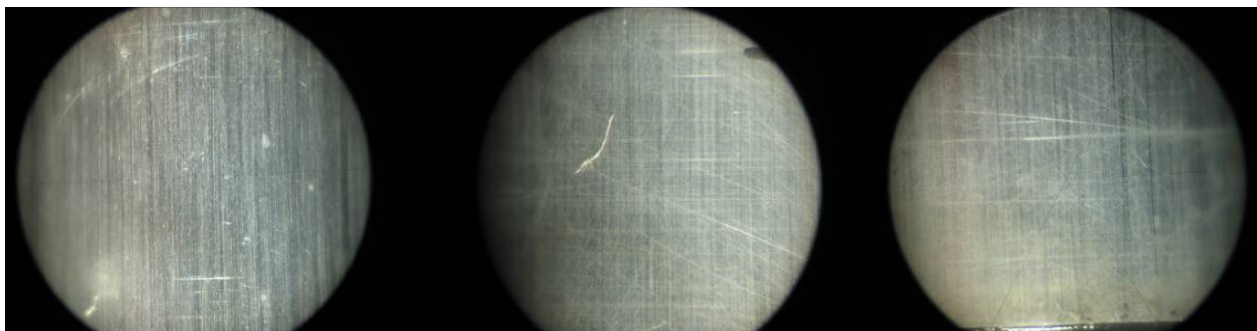
Фиг. 24. Снимки на макро повърхността на бутало 6 – в началото на експеримента.



Фиг. 25. Снимки на макро повърхността на бутало 6 – в края на експеримента.



Фиг. 26. Снимки на макро повърхността на бутало 12 – в началото на експеримента.



Фиг. 27. Снимки на макро повърхността на бутало 12 – в края на експеримента.

Когато сравним снимките от фигури 22., 24. и 26 с тези от фигури 23., 25. и 27. се вижда как се е променила повърхността в областта на челата на буталата.

Забелязват се надирите по дължината на буталата, като тези надирите не са много дълбоки, а са част от обработката на буталцето. Те приличат на следи от хонинг както при цилиндричните втулки на двигателите.

Понеже ГПВН не е експлоатирана дълго време преди да започнем експеримента се образува окисен слой върху работните повърхности на буталата и цилиндрите.

На първите снимки, преди започване на експеримента, се забелязват и петна от корозия, някои от които са изчезнали след работата на горивна помпа за високо налягане с водогоривна емулсия.

Друг важен фактор, който влияе на образа на снимките е допълнителната светлина която е използвана при заснемане на буталата. Допълнителната светлина при вторите снимки, след 500 работни моточаса, се е отразила във вече лъснатите повърхности и създава илюзията, че надирите са дълбоки.

Отсичащите ръбове са подложени на голямо износване и са еднакви на снимките заснети преди започване на експеримента и на снимките заснети след 500 работни моточаса, което е добър показател за работното състояние на помпата.

Всички снимки свидетелстват за износване, но колко е голямо и в каква степен зависи от водогоривната емулсия не може да се определи от снимките.

2.6. Анализ на емулсията след приключване на експеримента.

След края на стендовите изпитания е направено изследване на водогоривната емулсия. Направен е тест за съдържание на вода, механични примеси, пламна точка, плътност и наблюдение под микроскоп.

Всички анализи на емулсията са извършени в заводската лаборатория на “ТЕРЕМ - КРЗ ФЛОТСКИ АРСЕНАЛ - ВАРНА”. Лабораторията е сертифицирана по ISO 9001 и AQAP.

Извършени са следните анализи на емулсията:

а/ Определяне на пламна точка в отворен тигел по Маркусон.

Определената пламна точка на емулсията е 95 [°C]. За сравнение пламна точка на дизелово гориво (отворен тигел) е ≥ 60 [°C], а на мазут ≥ 90 [°C].

б/ Определяне на механични примеси - при опит да се определят механичните примеси се получава следното:

- с разредител бензин - нефтопродукта не се разтваря (фиг. 24.).



Фиг. 24. Изображения на разтваряне на емулсията с бензин.

- с разредител бензол – емулсията се пресича (фиг. 25.).

- с разредител спирт - емулсията се пресича (фиг. 26.).



Фиг. 25. Разтваряне на емулсията с бензол.

Фиг. 26. Разтваряне на емулсията със спирт.

- определяне наличието на вода в емулсията (фиг. 27.).



Фиг. 27. Изображение на стенда използван за определяне на съдържащото се количество вода във ВГЕ.

Пробата напълно се разтваря с екстрационен бензин, което не позволява отчитането на вода във ВГЕ.

Определяне на плътността на емулсията - измерената плътност на емулсията при 20 [°C] е 0,895 [g/cm³], а при 40 [°C] е 0,908 [g/cm³].

Плътността на мазута при 20 [°C] е 0,890 ÷ 0,930 [g/cm³].

Теста за съдържание на вода и механични примеси бе неуспешен, защото емулсията не се разтваря в бензин, бензол и спирт.

Спиртът не се разтваря, а се съединява с водогоривната емулсия и образува гъста каша, а бензола се отделя на повърхността на водогоривната емулсия.

При добавяне на бензин изследваната водогоривна емулсия се пресича и залепва по стените на филтърната хартия и не преминава през нея, при което не може да се установи съдържанието на механични примеси.

Единствено когато към водогоривната емулсия се добавя вода се получава хомогенна смес.

Пламната температура на ВГЕ е 950 [°C] в отворен тигел. Пламната температура на мазута е минимум 900 [°C] в отворен тигел, водогоривната емулсия има пламна температура 950 [°C] в отворен тигел което означава, че имат една и съща пламна точка.

Измерена е и плътността на водогоривната емулсия. Измерената плътност при 20 [°C] е $\rho = 0,895$ [g/cm³], а плътността на мазута при 20 [°C] варира от $\rho = 0,914$ ÷ $\rho = 0,991$ [g/cm³], а на лекото дизелово гориво варира $\rho = 0,860$ ÷ $0,890$ [g/cm³] в зависимост от качеството.

При тези две изследвания за плътност и пламна точка се оказа, че водогоривната емулсия по плътност е между горната граница на лекото дизелово гориво и долната граница на тежкото дизелово гориво, но точката на възпламеняване е най-близка до тази на тежкото дизелово гориво. По тези изследвания не може да се определи каква е основата на водогоривната емулсия тежко или леко дизелово гориво.

Поради невъзможност нито един от конвенционалните разтворители да разтвори емулсията определянето на механични примеси се оказва невъзможно.

Пробата напълно се разтваря с екстрационен бензин. Това прави определянето на

количеството вода в емулсията - невъзможно. Изводи от анализа и изследването:

1. След анализиране на функциите на износване може да се определи, че прецизните двойки са достигнали средно 90 [%] от собствения си моторесурс. Вследствие на експлоатацията им на ВГЕ, максималното износване е 30 [%], средният относителен коефициент на подаване на помпата (K_v) за всички прецизни двойки намалява с 5.9 [%]. След края на експеримента прецизните двойки все още имат запас от 10 [%] до достигане на 100 [%] износване и до разкомплектоването им.

2. Точността на приборите за замерване на геометричните размери ($\pm 2 \text{ } [\mu\text{m}]$) не е достатъчна за еднозначно определяне на интензивността на износване и за определяне на отклоненията от геометрична форма. Въпреки това замерите показват, че няма катастрофално износване ($\geq 10,4 \text{ } [\mu\text{m}]$) и разликите в отклоненията от геометрична форма са в границите на грешката на приборите.

3. След пренебрегване на грешката от измерването е пресметнат общият средно квадратичен коефициент на износването, който е 7.040 за всички прецизни елементи. Данни за прецизна двойка 7 и 9 показват че, са негодни при пренебрегване на грешката на измерването, тъй като са преминали допустимото износване.

4. Тегловните загуби отчетени при работа на водогоривна емулсия със съдържание на вода 50 [%] са получени индиректно чрез пресмятане и са с висока точност. Коефициентът на износването на всички бутала и цилиндри е $5.25 \div 9.80$. Средно квадратичният коефициент на износването за експеримента е 7.15. Тази стойност потвърждава данните за количеството и интензивността на износване получени от другите методи.

5. Моторесурсът на прецизните двойки намалява седем пъти по-бързо при експлоатация на водогоривна емулсия, в сравнение със същата на дизелово гориво.

6. Физичният и химичният анализ на емулсията доказва нейната висока стабилност. Поради невъзможност нито един от конвенционалните разтворители да разтвори емулсията определянето на механични примеси в нея се оказва невъзможно.

7. Направен е качествен анализ на износването чрез сравнителни резултати от снимки на макро повърхнината на буталата от прецизните елементи. Всички снимки свидетелстват за износване, големината и в каква степен зависи от водогоривната емулсия не може да се определи от снимките.

8. Отсичащите ръбове на буталата са еднакви на снимките заснети преди започване на експеримента и на снимките заснети след 500 работни моточаса, което е добър показател за работата на помпата на водогоривна емулсия.

Направените изводи дават добри основания за продължаване на изследванията на влиянието на тази водогоривна емулсия върху други възлови агрегати от КДД.

ОСНОВНИ ИЗВОДИ ОТ ДИСЕРТАЦИЯТА

На база на направения натурен експеримент и анализа на получените резултати са формулирани следните основни изводи в дисертационния труд:

1. Отчетено е влиянието на използваната водогоривна емулсия с 50 [%] съдържание на вода върху прецизните елементи на горивна помпа за високо налягане.

2. Направен е оптимален подбор на съвременни технически и изчислителни методи за достигане на оптимални изследователски условия и точни резултати.

3. Изследвани са скоростните, регулировъчните и режимните показатели, както и методите за оценка на износване на горивна помпа за високо налягане експлоатирана с водогоривна емулсия с високо съдържание на вода.

4. Доказано е същественото влияние на емулсия, със съдържание на 50 [%] вода, върху състоянието на повърхностния слой на прецизните елементи. Оценени са износванията качествено и количествено.

5. Получените теоретични и експериментални резултати в дисертацията разширяват полето на проектантите и производителите на горивна апаратура за прилагане на технологии за повърхностна обработка с цел постигане повишаване на износоустойчивостта и възстановяване на разполагаемия моторесурс в предвидените граници.

ПРИНОСИ В ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

От извършената работа по дисертационния труд са формулирани следните приноси:

1. Научно приложни приноси:

1.1. Моделиран е процеса на експлоатация на горивната помпа високо налягане на водогоривна емулсия. Създаден е модел на изследване с технологичен алгоритъм на приложение.

1.2. Проведен е натурен експеримент и са получени и обработени комплексни масиви с данни. Те включват аргументи моточасове, циклова порция, натоварване, отклонения от геометрични параметри, износване на прецизните елементи, хлабини и максималното им нарастване.

1.3. Синтезиран е математичен модел за тегловен анализ на износванията при работа с водогоривни емулсии, приложим и за оценка на качествено техническо състояние на прецизни двойки при наличие на входяща база данни.

2. Приложни приноси:

2.1. Разработена е методика за отчитане и обработване на данните от стендовите изпитания на горивната помпа за високо налягане при работа с ВГЕ с повишено съдържание на вода. Тя включва математични модели за реализиране на изследвания и получаване на числени резултати с онагледяване в програмни среди на Office Excel 2010, MathLab 12 и MathCAD 15.

2.2. Получените резултати са за качествена и количествена оценка на разработената ВГЕ от проф. д-р инж. Милчо Стоянов Ангелов - Университет по Хранителни Технологии - гр. Пловдив, България и целите на „Проект за създаване на ново гориво за ползване предимно от морски съдове”

Насоки за бъдещи разработки.

1. Изследване на възможните технологии за превантивна обработка на контактните повърхности чрез йонно-плазмено азотиране с индиректен плазмотрон на горивната апаратура за подобряване на износоустойчивостта при работа с ВГЕ с висок процент съдържание на вода.

2. Разработване на модел за комплексна оценка на ЕИП и екологичните показатели на КДД при работа с водогоривна емулсия с повишено съдържание на вода.